

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA BARCA PARA LA COMUNIDAD DE AZIZAKPE

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Joan Guasch Argilés

Dirigido por:
Francesc Xavier Martínez d'Osés
Joel Jurado Granados

Grado en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, data 7 de Julio de 2016

Departamento de Ciència i Enginyeria Nàutiques

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el producto sinérgico de muchas personas y entidades.

Agradecer a la ONG AKOMA, Hearts of Ghana, la ilusión depositada en este proyecto y la confianza que me han dado para afrontar el diseño de la embarcación.

Doy las gracias asimismo a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), sus profesores y al Centre de Cooperació per al Desenvolupament de la UPC por el apoyo y la retroalimentación que me han brindado durante todo el desarrollo del trabajo. De la misma manera quiero agradecer el aliento recibido de mi familia al apoyarme de manera incondicional para la realización de este proyecto tan sumamente interesante e humanitario en el que he podido participar.

No quiero olvidarme de agradecer de manera muy especial a Gerard Martínez i Díaz, por haber estado a mi lado durante todo el proceso del proyecto, guiándome en cada una de las fases, desde su inicio hasta el final, y a Arnau Lloansí Colom, compañero del proyecto, por su apoyo, constancia y dedicación en todo momento durante la realización del trabajo.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar una embarcación para la isla de Azizakpe, localizada en la desembocadura del río Volta, al Sud-Este de Ghana. El diseño debe contemplar que el coste de la construcción de la embarcación esté dentro de un presupuesto no muy elevado, teniendo en cuenta que será construida con materiales y herramientas locales.

El proyecto que nace gracias a la ONG AKOMA intenta aportar una solución a la problemática situación actual de movilidad y conectividad que sufren los vecinos de los diferentes pueblos que están alrededor del Río Volta.

La gente de Azizakpe necesita barcos para poder comunicarse con los diferentes pueblos que les rodea, como por ejemplo, Ada Foah. Si bien es cierto que hay embarcaciones privadas que ofrecen el servicio de transportar a los pasajeros de un lado a otro, el precio que deben pagar por cada trayecto es desmesuradamente elevado.

La principal función de la embarcación será transportar niños y profesores a la escuela de Ada Foah, situada en el otro lado del río y viceversa.

Una vez planteado el problema inicial, y para dar comienzo al proyecto, será necesario poner sobre la mesa un seguido de especificaciones que indicarán como tiene que ser la embarcación que se quiere diseñar para su posterior construcción. Una vez se sepa cómo va a ser el buque, se realizará el seguimiento de una espiral de diseño que servirá de guía para ir avanzando paso a paso en la evolución del proyecto.

LISTADO DE FIGURAS:

Figura 1- Imagen de la Espiral de diseño _____	17
Figura 2- Imágenes del primer diseño _____	24
Figura 3 – Imagen del francobordo mínimo de la embarcación _____	30
Figura 4 - Esquema del espejo de popa _____	33
Figura 5 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa _____	34
Figura 6 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa _____	34
Figura 7 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa _____	35
Figura 8 - Imagen del modelo 3d de la embarcación _____	40
Figura 9 – Imagen de la plantilla de la proa de la quilla _____	41
Figura 10 - Imagen de las plantillas de las cuadernas _____	41
Figura 11 – Imagen del proceso de corte de la pieza mediante la plantilla _____	41
Figura 12 – Imagen de la disposición de la quilla en el suelo _____	42
Figura 13 – Imagen del encaje entre la quilla y las cuadernas _____	42
Figura 14 – Imagen de detalle en 3d de la quilla, cuaderna, puntal y sobrequilla _____	43
Figura 15 – Imagen de detalle de la unión con el perno de la quilla con la cuaderna _____	43
Figura 16 – Imagen de la disposición de los refuerzos _____	44
Figura 17 – Imagen de la disposición de los bancos de un autobus _____	45
Figura 18 - Imagen en 3d de la estructura de los bancos _____	46
Figura 19 – Imagen de la partición de los paneles _____	47
Figura 20- Imagen de la configuración de los refuerzos transversales y longitudinales _____	49
Figura 21– Imagen de los remos para la embarcación como sistema propulsivo secundario _	52
Figura 22 – Imagen del barco posicionado sobre los ejes XYZ _____	55
Figura 23 – Imagen del posicionamiento del centro de gravedad _____	57
Figura 24– Esquema para la visualización de la línea GZ _____	59
Figura 25 – Ilustración de la sección del barco para el primer criterio a partir del software _	61
Figura 26 – Ilustración de la sección del barco para el segundo criterio a partir del software _	63
Figura 27 – Ilustración de la sección del barco para el tercer criterio a partir del software _	66
Figura 28 – Imagen alámbrica del modelo 3d de la embarcación _____	69
Figura 29– Renderizado del modelo 3d de la embarcación _____	69
Figura 30– Renderizado del modelo 3d de la embarcación _____	70
Figura 31 – Imagen en perspectiva de la maqueta del barco _____	70
Figura 32 – Imágenes de la maqueta en diferentes vistas _____	71

Figura 33 – Imagen de detalle del modelo 3d del soporte para la colocación de los remos	72
Figura 34– Imagen de detalle del modelo 3d de los depósitos de combustible	72
Figura 35 – Imagen del renderizado de la embarcación	73
Figura 36 – Imagen del renderizado de la parte interna de la embarcación	73
Figura 37 – Imagen del renderizado del modelo 3d	74
Figura 38 – Imagen de detalle del renderizado del motor de la embarcación	74
Figura 39– Imagen del Barco 1 referente a la base de datos (tabla 2)	89
Figura 40 – Imagen del Barco 2 referente a la base de datos (tabla 2)	89
Figura 41 – Imagen del Barco 3 referente a la base de datos (tabla 2)	90
Figura 42 – Imagen del Barco 4 referente a la base de datos (tabla 2)	90
Figura 43 - Imagen del Barco 5 referente a la base de datos (tabla 2)	91
Figura 44 - Imagen del Barco 6 referente a la base de datos (tabla 2)	91
Figura 45 - Imagen del Barco 7 referente a la base de datos (tabla 2)	92
Figura 46- Imagen del Barco 8 referente a la base de datos (tabla 2)	93
Figura 47- Imagen del Barco 9 referente a la base de datos (tabla 2)	94
Figura 48 - Imagen del Barco 10 referente a la base de datos (tabla 2)	94
Figura 49 - Imagen de la ficha técnica de la madera IROKO	102

LISTADO DE TABLAS:

Tabla 1-Especificaciones principales	15
Tabla 2 - Base de datos	21
Tabla 3 -Dimensiones principales	22
Tabla 4 - Resistencias a 10 kn de velocidad para diferentes modelos	35
Tabla 5- Datos introducidos y obtenidos mediante la aplicación	38
Tabla 6 - Datos de los paneles de costado	48
Tabla 7 – Datos de los paneles del fondo	48
Tabla 8 – Validación de los refuerzos del barco según la ISO	50
Tabla 9 – Desglose de los pesos de la embarcación	55
Tabla 10 – Datos finales del desplazamiento y su posición en los ejes con 23 personas	56
Tabla 11 – Desglose de los pesos para la mínima carga	57
Tabla 12– Datos definitivos de la embarcación	68

LISTADO DE GRÁFICOS:

Grafico 1 - Puntal vs. Eslora total	21
Grafico 2 - Desplazamiento vs. Eslora total	22
Grafico 3 – Manga vs. Eslora total	22
Grafico 4 – Desplazamiento vs. Eslora total	27
Grafico 5 - Resistencia vs. Velocidad para un ángulo de 3º	36
Grafico 6 - Resistencia vs. Velocidad para un ángulo de 4º	36
Grafico 7 – Resistencia vs. Velocidad con un ángulo de 5º	37
Grafico 8 - GZ vs Ángulo de escora para el caso de máxima carga	59
Grafico 9 - GZ vs Ángulo de escora para el primer criterio	61
Grafico 10 - GZ vs Ángulo de escora para el segundo criterio	62
Grafico 11 – GZ vs. Ángulo de escora para el caso de mínima carga	64
Grafico 12 - GZ vs Ángulo de escora para el tercer criterio	65

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	6
LISTADO DE FIGURAS	8
LISTADO DE TABLAS	9
LISTADO DE GRÁFICOS	10
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVO	14
1.2 INFORMACIÓN SOBRE EL ENTORNO	15
1.3 ESPIRAL DE DISEÑO Y PASOS A SEGUIR	16
2. BASE DE DATOS	20
3. GEOMETRÍA DEL CASCO	24
3.1 PRIMER DISEÑO	24
4. CONFIABILIDAD DEL DESPLAZAMIENTO	26
4.1 CALCULO DEL PESO DE LA EMBARCACIÓN MEDIANTE FORMULA EMPÍRICA	26
4.2 COHERENCIA CON LAS REGRESIONES	27
5. IMPLANTACIÓN DE UN FRANCOBORDO MÍNIMO (NORMATIVA ISO)	30
6. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA Y DEFINICIÓN DE LA PROPULSIÓN	32
6.1 ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE	32
6.2 MODIFICACIONES SOBRE EL PRIMER DISEÑO	33
6.3 CALCULO DE LA RESISTENCIA PARA LOS DIFERENTES ÁNGULOS	35
6.4 POTENCIA DE PROPULSIÓN NECESARIA	37
7. ARREGLO ESTRUCTURAL Y ESCANTILLONADO DE LA EMBARCACIÓN	40
7.1 MÉTODO CONSTRUCTIVO	40
7.2 DISPOSICIÓN DE LOS BANCOS	44
7.3 ESCANTILLONADO	46

7.3.1 PANELES DE FONDO Y COSTADO	46
7.3.2 CALCULO DE LOS REFUERZOS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES SEGÚN LA ISO	49
8. SISTEMAS AUXILIARES	52
9. PESOS FINALES Y ESTABILIDAD	54
9.1 PESOS DEFINITIVOS DE LA EMBARCACIÓN	54
9.1.1 DESPLAZAMIENTO A MÁXIMA CARGA	56
9.1.2 DESPLAZAMIENTO A MÍNIMA CARGA	57
9.2 ESTABILIDAD	58
9.2.1 CASO CARGA MÁXIMA	58
9.2.2 CASO MÍNIMA CARGA, SIN PASAJE	63
10. DISEÑO FINAL	68
11. RENDERS DEL MODELO 3D	72
12. CONCLUSIONES	76
13. BIBLIOGRAFÍA	78
14. ANEXO I: PLANO DE FORMAS	80
15. ANEXO II: PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL	84
16. ANEXO III: IMÁGENES REFERENTES A LA BASE DE DATOS	88
17. ANEXO IV: PRESUPUESTO DE LA EMBARCACIÓN	96
18. ANEXO V: FICHA TÉCNICA DE LA MADERA IROKO	100
19. ANEXO VI: INFORME REAL SOBRE LA REGIÓN DE AZIZAKPE	104

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema y objetivo

La gente de Azizakpe necesita barcos para poder comunicar la isla con los diferentes pueblos que hay a su alrededor, como por ejemplo, Ada Foah. Existen embarcaciones pero estas son privadas, cosa que provoca que la gente tenga que pagar un elevado precio de mercado para poder ir de un lado al otro con el barco. Es por este motivo, el que se quiera construir un barco que este dentro de un presupuesto no muy elevado, con fácil construcción y que pueda transportar entre 15 y 30 personas, entre ellas niños y adultos para que puedan ir al colegio y viceversa.

El objetivo es diseñar una embarcación de formas simples para su fácil construcción, con un coste relativamente asequible y adecuado a las necesidades de velocidad, de pasaje y de navegabilidad. Una embarcación pensada para el transporte de pasajeros (niños y adultos) desde la isla de Azizakpe a cualquiera de sus poblados que les rodea (a 10 nudos¹ (Kn) de velocidad, el trayecto no dura más de 20 minutos). Como a especificaciones más importantes se pueden destacar las siguientes:

- El barco será construido básicamente con madera local y con geometrías simples.
- La embarcación tendrá una capacidad de pasaje de 15 a 30 pasajeros.
- La propulsión principal vendrá dada por un motor de consumo relativamente bajo ya que no será necesario que trabaje a velocidades superiores a los 10Kn.
- La embarcación deberá tener un espacio para el transporte de 250 Kg de carga.
- Estable y segura para el transporte de carga y pasajeros.

Estas especificaciones principales se resumen en la siguiente tabla:

¹ Unidad que se utiliza en el mundo náutico para hacer referencia a la velocidad en la que navega la embarcación (1 nudo (Kn) equivale a 1,852 Km/h).

Materiales para la construcción	Capacidad	Propulsión	Carga
Maderas (Odum y Umble) y fibra más resina para el fortalecimiento de la estructura	Entre 15 y 30 pasajeros incluyendo el patrón del barco	Pequeño motor fueraborda (entre 20 a 30 CV de potencia) y para un consumo bajo el barco navegará a 10 kn de velocidad.	250 kg de carga extra sin contar los pasajeros ni elementos esenciales como los remos o depósitos de combustible.

Tabla 1-Especificaciones principales

1.2 Información sobre el entorno

Una vez planteado el problema inicial, y para comenzar el proyecto, se necesita hacer un estudio general de la zona donde se va a construir, y donde va a navegar el barco. Esto implica conocer con que utensilios trabajan los habitantes de la isla de Azizakpe, que materiales tienen a su disposición, como es su clima y las condiciones del agua donde navegara el barco. A continuación se muestra un resumen de esta información:

- I. **Herramientas:**
 - Herramientas básicas: martillo, cepillo, reglas, sierras, etc.
 - Herramientas específicas: Se pueden encontrar en Accra(Capital de Ghana)
- II. **Clavos y otros:** disponibles en Azizakpe y a Ada Foah.
- III. **Madera para la construcción:** hay dos clases de madera disponible:
 - *Odum*: madera de buena calidad (se podría utilizar para la estructura interna de la embarcación).
 - *Umble*: madera de menor calidad (se podría utilizar para el forrado del barco).
- IV. **Otros materiales:**
 - Masillas: fácil adquisición en los alrededores.
 - Cola blanca: se recomienda su uso y se puede encontrar en Azizakpe.
 - Recubrimientos: se pueden encontrar en Accra o traerlas desde Europa (por ejemplo resinas, *gelcoats* o fibras).
- V. **Electricidad:** el muelle de la isla de Azizakpe no dispone de electricidad, pero en el muelle de *Highway Authorities* sí, aunque se tiene que pedir permiso. Otra opción es traer un generador desde Europa.

- VI. **Motores fuera borda:** entre 25 CV (potencia recomendada) y 40 CV. Se pueden comprar motores (*Yanmar*) y cuestan 400 € los de segunda mano y 1000 € los nuevos.
- VII. **Recambios mecánicos:** se pueden encontrar recambios básicos y comunes en Ada Foah o en Tema, pero para recambios más específicos se tiene que ir a Accra.
- VIII. **Experiencia de la gente:** la gente tiene conocimientos básicos. Hay dos carpinteros en la zona de la isla de Azizakpe y en la de Ada Foah.
- IX. **Tiempo estimado de construcción:** entre 6 y 8 semanas.
- X. **Corrientes:** no estudiadas en la parte de la desembocadura.
- XI. **Oleaje:** la ola media suele ser de unos 0,2 m con picos de hasta 1,5 m en las peores condiciones meteorológicas (poco frecuentes).
- XII. **Mareas:** hay dos mareas altas y dos bajas con una diferencia de unos 3 cm de altura del agua entre una marea y la otra.
- XIII. **Vientos:** la dirección del viento suele ser sud-oeste con diferentes ráfagas. En épocas de tormenta, el viento puede llegar a los 25 Kn de velocidad y, en otras épocas, el viento suele tener una velocidad de 8 Kn con picos de 10 Kn. Entre Diciembre y Enero hay el *harmattan*, un viento fuerte, frío, seco y con polvo.
- XIV. **Sedimentos flotantes en aguas:** se pueden encontrar sedimentos en el río, sobre todo después de una tormenta.
- XV. **Muelles:** hay un embarcadero de unos 23 m con unas profundidades que varían entre 0,5 y 1,5 m. También hay un muelle provisional de unos 2,3m de profundidad. Los barcos se suelen dejar en la orilla de la playa, fuera del agua.
- XVI. **Lluvias:** los meses de Mayo y Junio suelen ser los más lloviosos.
- XVII. **Densidad del tráfico:** barcos pequeños que conectan las islas, pesqueros pequeños y barcos turísticos.
- XVIII. **Temperaturas:** Unos 22 °C (Grados Celsius) en Agosto y unos 32 °C en Febrero.
- XIX. **Señalización:** no hay boyas ni señales, pero hay un canal dragado de 5m destinado al comercio.

1.3 Espiral de diseño y pasos a seguir

Antes de empezar con el proyecto, es imprescindible plantear un conjunto de pautas a seguir para tener una organización lógica y adecuada para poder trabajar el proyecto con garantías de que los pasos estarán bien correlacionados y, de esta manera, presentar el proyecto en los

términos establecidos. Por este motivo, se utilizará el método de la espiral de diseño para poder seguir paso a paso y de forma ordenada la evolución del proyecto y, así poder reaccionar de manera eficaz y prudente ante un problema.

Una espiral adecuada a nuestro proyecto podría ser la siguiente:

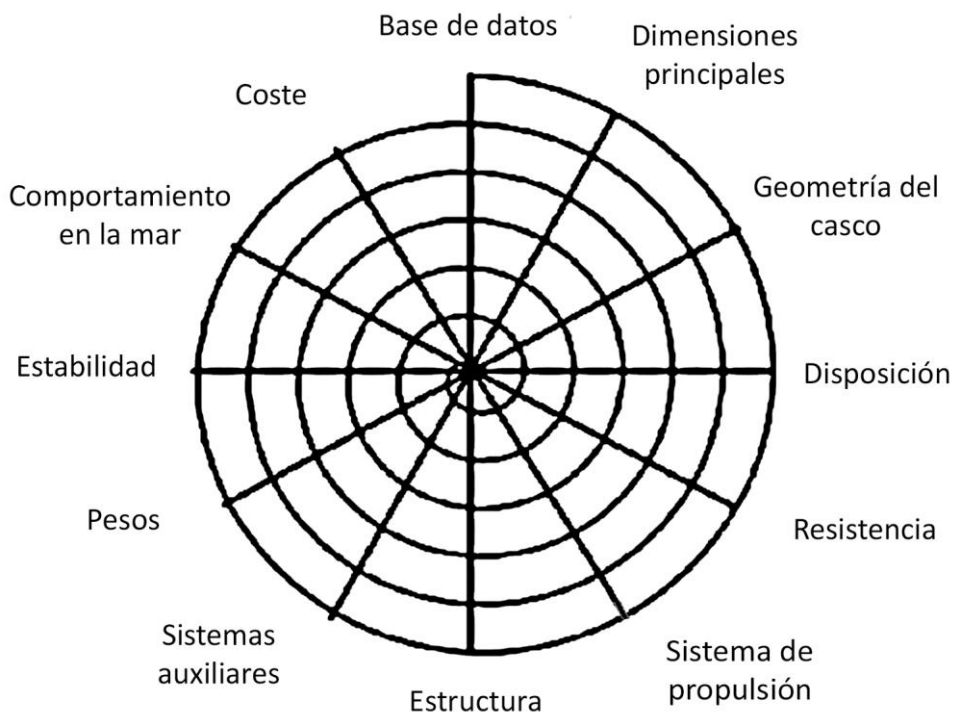


Figura 1- Imagen de la Espiral de diseño

A continuación se explica brevemente cada paso de la espiral de diseño:

- I. **Base de datos:** Hacer una base de datos con barcos similares al que se quiere diseñar; barcos de 5 a 15 metros de eslora construidos en Ghana o, como mínimo, en regiones similares. Con las dimensiones principales de los barcos semejantes al nuestro, podremos obtener gráficas orientativas para poder ver si siguen una tendencia o no.
- II. **Dimensiones principales:** Decidir cuales tienen que ser las dimensiones principales del barco siguiendo las regresiones de tendencia hechas con nuestra base de datos, teniendo en cuenta que es lo que queremos de nuestro barco a diseñar (capacidad de

persona, carga, estabilidad...). Decir que cuanto más parecidos sean los barcos de nuestra lista y más haya en ella, obtendremos unas dimensiones más precisas y certeras.

- III. **Geometría del casco:** Hacer los primeros esbozos de cómo tiene que ser nuestra embarcación teniendo en cuenta aspectos como el entorno donde se tiene que construir el barco (si tienen o no los recursos necesarios para hacer un tipo de embarcación u otro). Se puede hacer más de un diseño inicial para poder valorar diferentes opciones.
- IV. **Disposición:** Pensar cómo irán distribuidas las personas en el barco, en como disponer los bancos y hacer una primera estimación de los pesos del buque, para poder hacer los primeros cálculos teniendo ya, un desplazamiento y una línea de flotación, aunque no sea la definitiva.
- V. **Resistencia:** Hacer un estudio aproximado de la resistencia al avance que puede llegar a tener la embarcación y comparar, con las diferentes geometrías del casco, cual es la más óptima. Para que el cálculo de la resistencia sea más sencillo y fiable se puede utilizar un *software*.
- VI. **Sistemas de propulsión:** Decidir, observando la resistencia obtenida y teniendo en cuenta aspectos no tan técnicos relacionados con la comodidad de hacer servir un sistema u otro, ya sean más o menos económicos, el sistema o sistemas de propulsión que llevara el barco.
- VII. **Estructura:** Hacer la disposición de los refuerzos que tiene que tener el barco, calcular sus espesores y calcular los espesores del casco de la embarcación. En este punto se tiene que utilizar la normativa ISO-12215-5:2008 para asegurar que el buque cumpla con unos estándares lógicos, pero teniendo en cuenta que, posiblemente, cuando se construya el barco, se dimensionara todo un poco. Por lo tanto, en este apartado lo que se tiene que hacer es calcular unos espesores mínimos que cumplan con la norma para la futura construcción de la embarcación.
- VIII. **Sistemas auxiliares:** Pensar sobre los diferentes sistemas auxiliares que puede llevar el barco. Se tiene que tener en cuenta las limitaciones presupuestarias. Por lo tanto, los sistemas auxiliares deberán ser los necesarios.
- IX. **Pesos:** En este punto se hará una lista de los diferentes elementos que actúan sobre el peso total de la embarcación. Estos pesos pueden derivar de las personas, de una posible carga adicional, del motor, de los depósitos de combustible...Una vez hecho la lista con los diferentes elementos que afectan al peso del barco, tendremos que

ponerlos sobre él para estudiar la distribución del peso total final del conjunto y poder asegurar que el buque no quede con escora o con asiento en popa o en proa desde un inicio.

- X. **Estabilidad y comportamiento en la mar:** Comprobar que la barca es estable siguiendo la disposición de pesos previa, calculando los indicadores básicos mediante un software para asegurar una estabilidad de la embarcación que este dentro de la normativa.
- XI. **Coste:** En este último punto se deberá hacer una aproximación del coste total de la embarcación teniendo en cuenta, el volumen de material utilizado para la construcción del barco y todos los elementos auxiliares que incorpora la misma.

2. BASE DE DATOS

Como ya se ha comentado en el apartado anterior el proyecto se inicia con una recolección de datos para ver que barcos son los que se utilizan en Azizakpe y en zonas similares (mismo país o países cercanos con semejanzas).

El siguiente listado recoge barcos con las mismas características. Pero, antes, se hará una pequeña descripción del barco que se desea diseñar:

- Barcos con esloras entre 5 y 15 metros para asegurar una capacidad y un buen acomodamiento del pasaje, que será de entre 15 y 30 personas.
- Barcos contruidos en madera y de formas sencillas para su fácil fabricación (fondo relativamente plano), sin buscar superestructuras complejas (solamente el casco y una estructura interna para el acomodamiento del pasaje y pertrechos²).
- Barcos destinados al transporte de pasajeros (descartar cualquier embarcación que su fin no sea el transporte de pasaje).
- Barcos con calados no superiores a los 0,5 m debido a las dimensiones de un embarcadero que podría ser utilizado.
- Barcos que utilicen una navegación a motor con una potencia de entre 25 y 40 CV (en la zona de Azizakpe disponen de motores de entre 25 y 40 CV de potencia).

Una vez resumidas las características, hay que decir que en la base de datos se pueden incorporar todos los barcos que cumplan con los requisitos anteriores y embarcaciones que puedan interesar en ciertos aspectos. Por ejemplo; si un barco no está propulsado por un motor de entre 25 y 40 CV de potencia pero tiene unas formas parecidas a los barcos de la base de datos, se puede incluir en la lista siempre y cuando se tenga en cuenta que no se podrá utilizar de referencia cuando se elija el motor de la embarcación. A continuación se muestra la base de datos con la información necesaria de las embarcaciones a utilizar:

² Utensilios necesarios para la realización de una actividad determinada, en este caso, instrumentos necesarios para la navegación; motor, depósitos de gasolina, remos, chalecos salvavidas...etc.

	ESLORA (m)	ESLORA EN FLOTACIÓN (m)	MANGA (m)	MANGA EN FLOTACIÓN (m)	PUNTAL (m)	DESPLAZAMIENTO (kg)	FRANCOBORDO (m)
BARCO 1	7,32	6,2	2,2	1,85	0,99	N/A	0,55
BARCO 2	7,32	5,97	2,3	1,88	1	1300	0,51
BARCO 3	7,1	N/A	2,1	N/A	1,1	600	N/A
BARCO 4	9,8	N/A	2,5	N/A	0,9	4000	N/A
BARCO 5	7	N/A	1,35	N/A	0,55	N/A	N/A
BARCO 6	10,85	10,5	1,95	N/A	0,9	2150	0,5
BARCO 7	6,1	N/A	2	N/A	0,91	N/A	N/A
BARCO 8	7,92	N/A	2,14	N/A	0,8	N/A	N/A
BARCO 9	9	N/A	1,3	N/A	0,7	N/A	N/A
BARCO 10	8	N/A	1,2	N/A	0,6	N/A	N/A

Tabla 2 - Base de datos

NOTA ³

Con los datos ya introducidos en la lista, se elaborarán unos gráficos para relacionar la información de la lista.

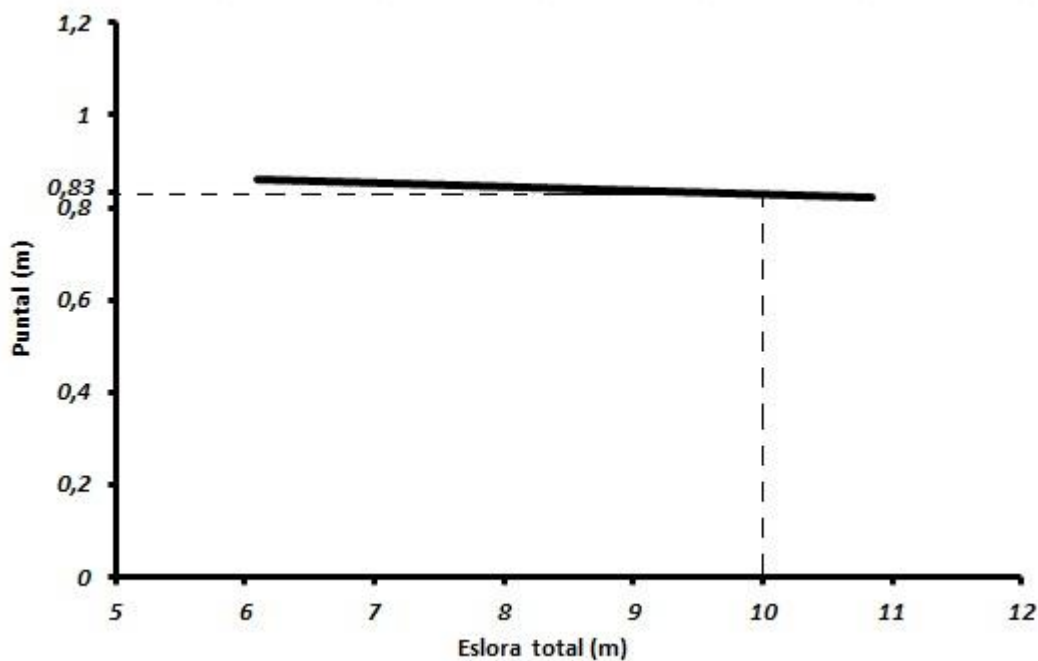


Gráfico 1 - Puntal vs. Eslora total

³ Las imágenes de las embarcaciones de la base de datos se encuentran en el Anexo III.

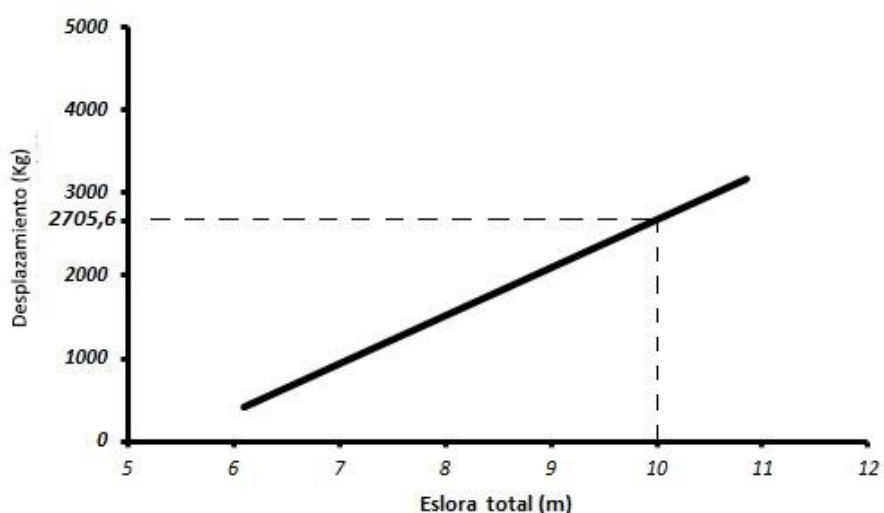


Gráfico 2 - Desplazamiento vs. Eslora total

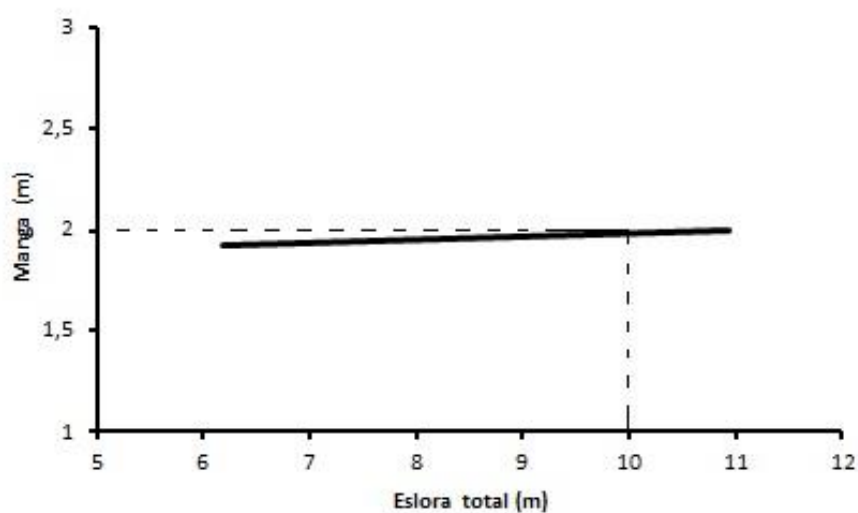


Gráfico 3 – Manga vs. Eslora total

Eslora total (m)	Manga total (m)	Puntal medio (m)	Desplazamiento (Kg)
10	2	0,83	2705,6

Tabla 3 -Dimensiones principales

Observando las regresiones de tendencia referentes a las gráficas halladas e introduciendo una eslora de 10 metros como la más óptima para nuestra embarcación, obtenemos las principales

dimensiones que tendrá el barco a diseñar. Se tiene que tener en cuenta que estos datos pueden variar a medida que el proyecto va avanzando.

3. GEOMETRÍA DEL CASCO

Para facilitar la construcción de la embarcación, se tiene que tener en cuenta que no se puede diseñar un barco con formas complejas, ya que la población de Azizakpe no tienen los suficientes recursos para poder trabajar la madera curvada ni disponen de unas instalaciones adecuadas para la construcción naval.

3.1 Primer diseño

Por los motivos anteriores, se diseñara un primer modelo, con un mínimo ángulo de astilla muerta de 3° , para conservar al máximo la geometría del casco a lo largo de la eslora, para evitar cambios bruscos de curvatura en el casco. Por esta razón, se coge como modelo el cuarto barco de la base de datos y se sobredimensiona con las cotas obtenidas mediante las regresiones de tendencia.

El primer diseño, dibujado mediante herramientas de *softwares CAD*, tiene un ángulo de astilla muerta de 3° , un espejo en popa completamente plano, y unas formas del costado desarrollables. A continuación se muestra una imagen:

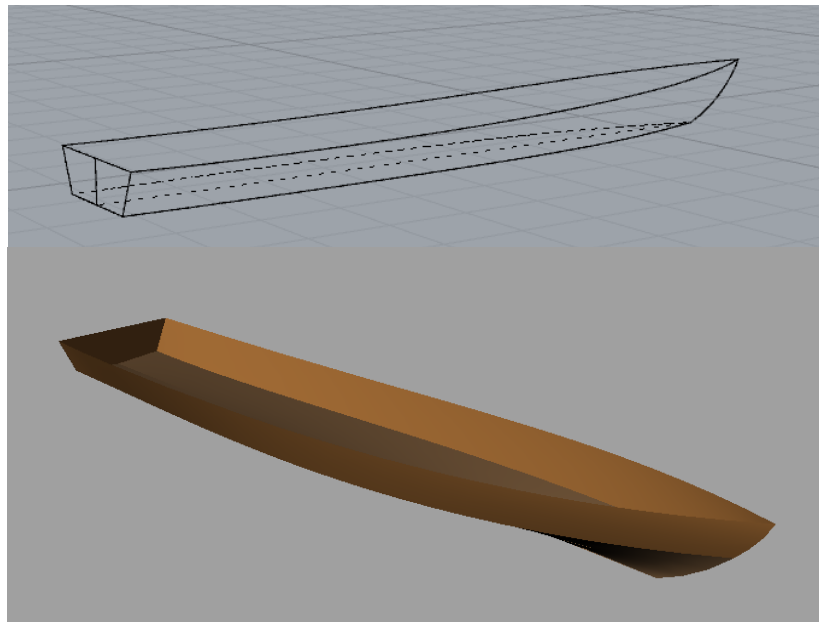


Figura 2 – Imágenes del primer diseño

4. CONFIABILIDAD DEL DESPLAZAMIENTO

4.1 Cálculo del peso de la embarcación mediante fórmula empírica

Dado que el coeficiente de Pearson⁴, de la regresión obtenida del desplazamiento con la eslora total del barco, es un valor menor a 0,7, se ha querido comparar con otra fórmula empírica, del libro especializado en construcción de botes de madera, **Como diseñar un barco de John Teale**. Con la finalidad de obtener mayor confiabilidad en el valor del desplazamiento mediante dos criterios distintos.

La fórmula empírica es la siguiente:

$$m_{sp} = m_f \cdot \frac{5}{3} \cdot 1,1 + m_m + m_c \quad (1)$$

m_{sp} es la masa del barco sin pasaje

m_f es la masa del forro de la embarcación

m_m es la masa del motor

m_c es la masa de la carga

Gracias al diseño previo de la embarcación, se ha obtenido una superficie del casco para poder calcular el peso del bote mediante la anterior fórmula empírica. Se puede asumir que el peso del forro del barco es el área del forro multiplicada por un espesor de los tablones de madera que no serán superiores a los 20 mm (teniendo en cuenta que los tablones de 20 mm son los que se encuentran en la isla de Azizakpe). El peso inicial del motor deberá ser de 150 Kg y se asume que quieren llevar unos 250 Kg de carga adicional a parte de los pasajeros.

Todos estos valores estimados (espesor del forro, peso del motor y carga) se sobredimensionan para hacer el cálculo de la situación más desfavorable.

Con esta fórmula empírica, el valor del peso del barco que se ha obtenido es de 1005,68 Kg, y teniendo en cuenta que el mínimo de personas a transportar es de 15, se le suman 5 más para

⁴ Es un índice (R^2) que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos o más variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas.

el caso más desfavorable. Siguiendo con el peso normativo Europeo de 75 kg/persona, se puede calcular el peso total de la embarcación sumándole, el peso anterior, las 20 personas que viajaran a bordo del bote más el patrón del barco:

$$m_{tot} = m_{sp} + N \cdot m_{pp} = 2580,68 \text{ kg} \quad (2)$$

m_{tot} es la masa total del barco (incluyendo el pasaje)

N es el número de personas en la embarcación

m_{pp} es la masa por persona

4.2 Coherencia con las regresiones

En el siguiente gráfico, se puede observar la línea de regresión del desplazamiento con la eslora total comentada en apartados anteriores. Esta nos indica la ecuación de la recta de la cual podemos obtener el desplazamiento con una eslora de 10 metros, y el coeficiente de Pearson que en este caso, es menor que 0,7. La grafica de la línea de tendencia es la siguiente:

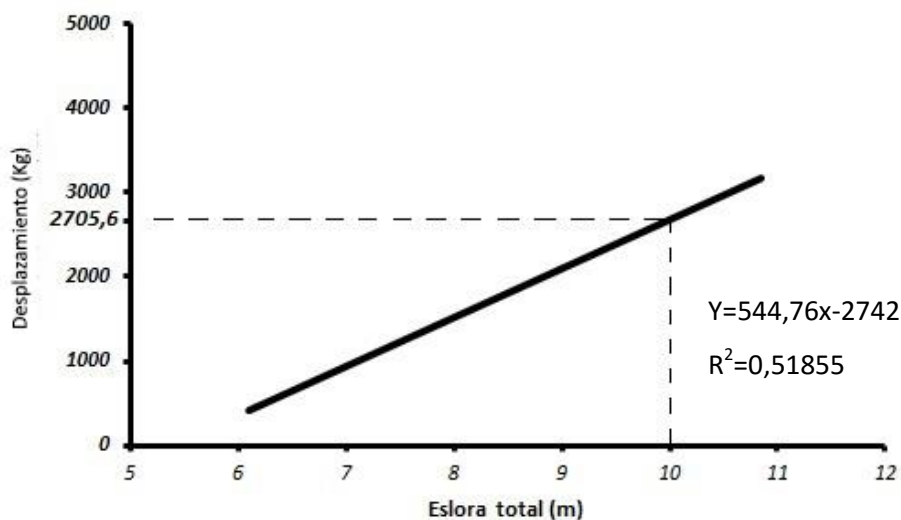


Gráfico 4 – Desplazamiento vs. Eslora total

Mediante la fórmula de la recta podemos extraer el siguiente valor del desplazamiento:

$$D_{sr} = (544,76 * LOA) - 2742 = 2705,6 \text{ kg} \quad (4)$$

D_{sr} es el desplazamiento aproximado según la regresión
 LOA es el valor de la eslora de la embarcación, en este caso, 10 metros

Los dos valores obtenidos del desplazamiento de nuestra embarcación, mediante dos criterios distintos son: el primero, formula empírica, con un valor de 2580,68 Kg y el segundo, línea de tendencia, con un valor de 2705,6 Kg. Se puede observar que entre los dos valores hay un error del 4,61% y por lo tanto, teniendo en cuenta que se obtienen los diferentes desplazamientos de manera distinta y el error no es elevado, se puede afirmar que el desplazamiento hallado con la formula empírica es coherente.

Se tiene que tener en cuenta que los valores encontrados en este apartado variarán cuando esté diseñada toda la estructura y se puedan calcular los pesos totales de la embarcación de una forma más exacta, aun así, es un buen comienzo para poder seguir de forma segura la espiral de diseño de la embarcación.

5. IMPLANTACIÓN DE UN FRANCOBORDO MÍNIMO (NORMATIVA ISO)

Para el buen uso de la embarcación se necesita establecer la cantidad de pasajeros que podrán viajar en el barco. Por esa razón, es adecuado utilizar normativas que aseguren que el diseño que se realiza sea el correcto, y así, comprobar que la embarcación sea segura. La normativa que se utilizara en muchas partes de este proyecto es la normativa ISO de la OMI; en este apartado, la ISO 12217-1.

Mediante esta norma se calculara el francobordo mínimo que tiene que tener nuestra embarcación para asegurar que no pueda entrar agua en el interior y pueda peligrar la seguridad a bordo. Este francobordo mínimo se puede calcular con la siguiente formula:

$$Fb_{\min} = 0,11 \cdot \sqrt{LOA} = 0,348 \text{ m} \quad (3)$$

Fb_{\min} es el francobordo mínimo que debe tener la embarcación

LOA es la eslora total del barco

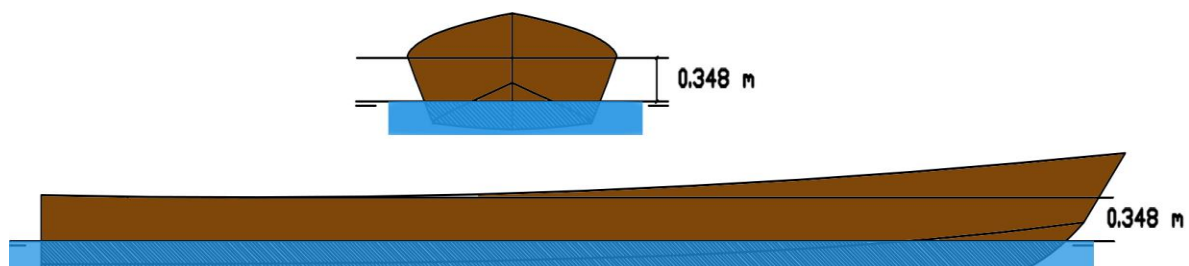


Figura 3 – Imagen del francobordo mínimo de la embarcación

Este francobordo es el mínimo por seguridad y se tiene que respetar en todo momento durante la situación de máxima carga, donde el desplazamiento del barco será el máximo.

Aplicando este francobordo mínimo al diseño del buque, se puede observar que el desplazamiento máximo que puede soportar el barco es de 2594,6 Kg. Este valor se tiene que

tener en cuenta en el momento de cargar el barco tanto de pasajeros como de carga. Por otro lado, con este desplazamiento y manteniendo la carga y el peso del motor, caben a bordo de la embarcación 21 personas. Aunque no es el peso definitivo el número de personas es el mismo que se ha calculado anteriormente.

.

6. ESTUDIO DE LA RESISTENCIA Y DEFINICIÓN DE LA PROPULSIÓN

El estudio de la resistencia de la embarcación se calculará para diferentes modelos de la misma (con diferentes ángulos de astilla muerta del barco). Este estudio se puede realizar mediante herramientas de *software*.

6.1 Estudio de la resistencia al avance

Existen varios métodos para el cálculo de la resistencia de un buque, todos ellos tienen en cuenta qué tipo de barco se analiza y las velocidades en las que navegará (en modo desplazamiento, en modo planeo o un modo intermedio). En este caso se utilizará el método de Savitsky de pre-planeo. Las razones principales son:

- Se asume que las velocidades no tienen que superar los 10 nudos de velocidad (al ser un buque destinado al pasaje). Por lo tanto, el número de Froude⁵, 10 metros de eslora, una velocidad de 10 nudos(5,144 m/s) y una gravedad de 9,81 m/s², será:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot eslora}} = 0,52 \quad (5)$$

<i>Fr</i>	<i>es el número de Froude</i>
<i>v</i>	<i>es la velocidad de la embarcación</i>
<i>g</i>	<i>es la gravedad</i>

Este valor indica que el barco aun no navega en modo de planeo para 10 nudos de velocidad.

- El fondo prácticamente plano proporciona un modo de navegación propenso al de planeo, aun así, la velocidad no es suficiente para considerarlo de este modo.

⁵ Es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. Debe su nombre al ingeniero hidrodinámico y arquitecto naval inglés William Froude.

- El barco no siempre viajará a máxima carga, así que el hecho de viajar con menos carga supone menor peso para la embarcación y un acercamiento hacia el modo de planeo.

6.2 Modificaciones sobre el primer diseño

También se pueden hacer más diseños con un ángulo de astilla muerta de 3, 4 o 5 grados por lado, sin cambiar el ángulo de los costados. Estas modificaciones sirven para dar dirección y estabilidad de rumbo a la embarcación, ya que en navegación fluvial, donde pueda haber corrientes cambiantes, es importante poder tener un control total del barco. Otros motivos por los cuales se han hecho estas modificaciones es la mayor resistencia en la sección maestra y por lo tanto este ángulo evita cargas excesivas cuando el barco golpea bruscamente con las olas, cuanto más forma de V en la quilla, menos presiones hidrostáticas sobre el casco. Los ángulos de los que se habla son pequeños, de no ser así se complicaría la construcción de la embarcación o aumentaría exponencialmente el calado de la misma para un mismo desplazamiento.

El ángulo de astilla muerta que se menciona es el ángulo α que se muestra en la siguiente imagen:

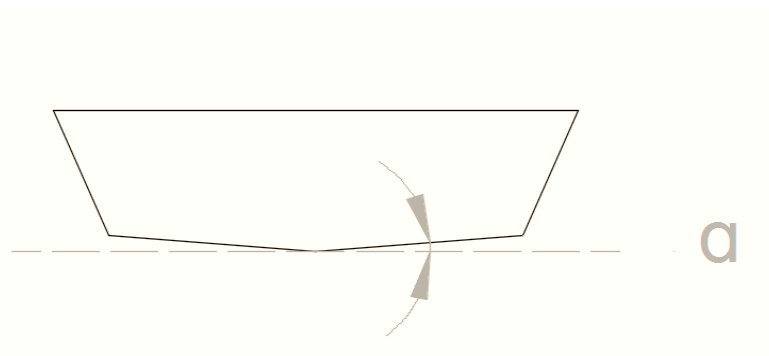


Figura 4 - Esquema del espejo de popa

A continuación se muestra los diferentes modelos con un ángulo de astilla muerta de 3, 4 y 5 grados:

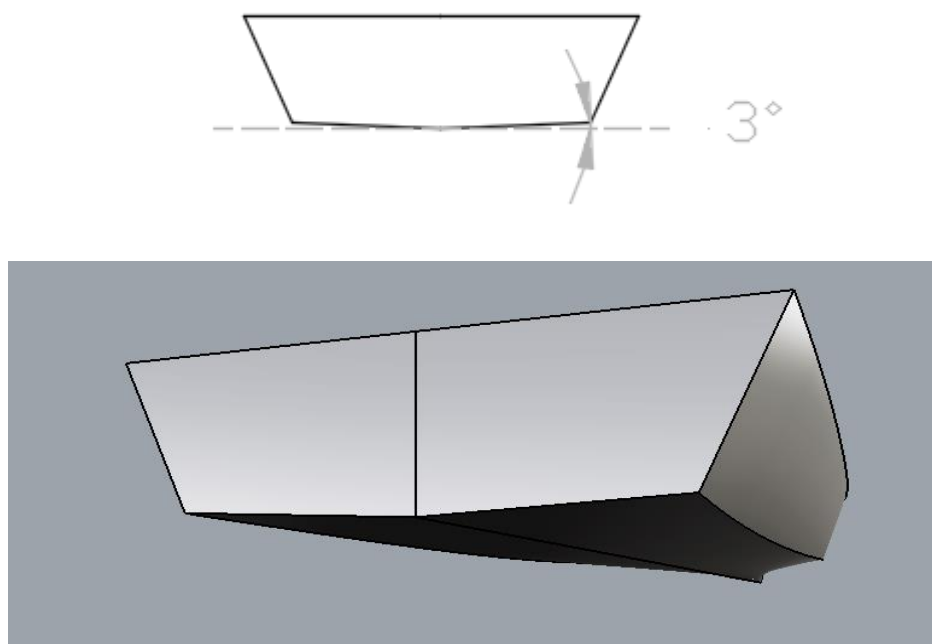


Figura 5 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa con un ángulo de astilla muerta de 3º

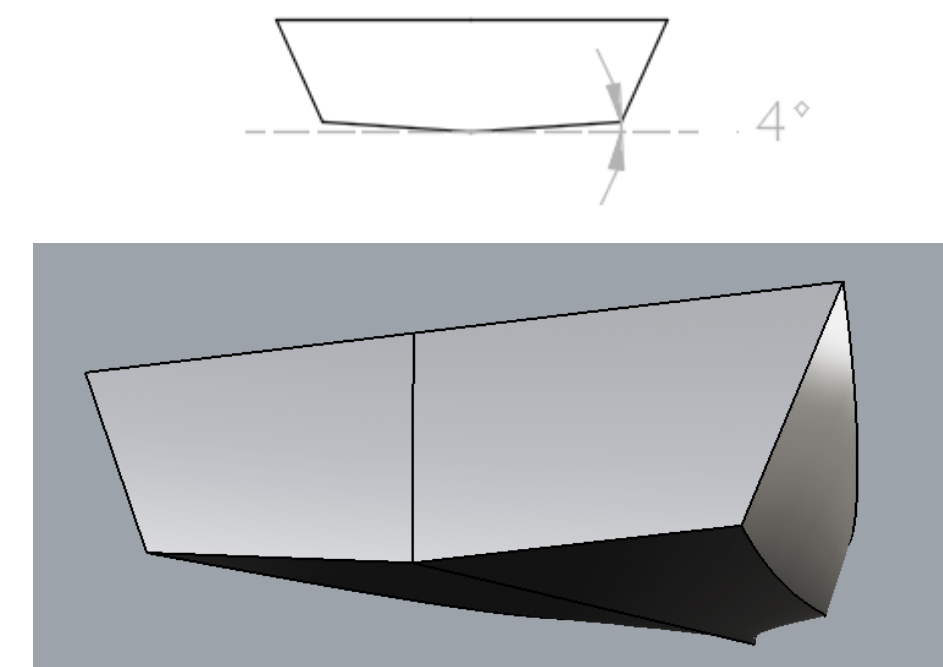


Figura 6 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa con un ángulo de astilla muerta de 4º

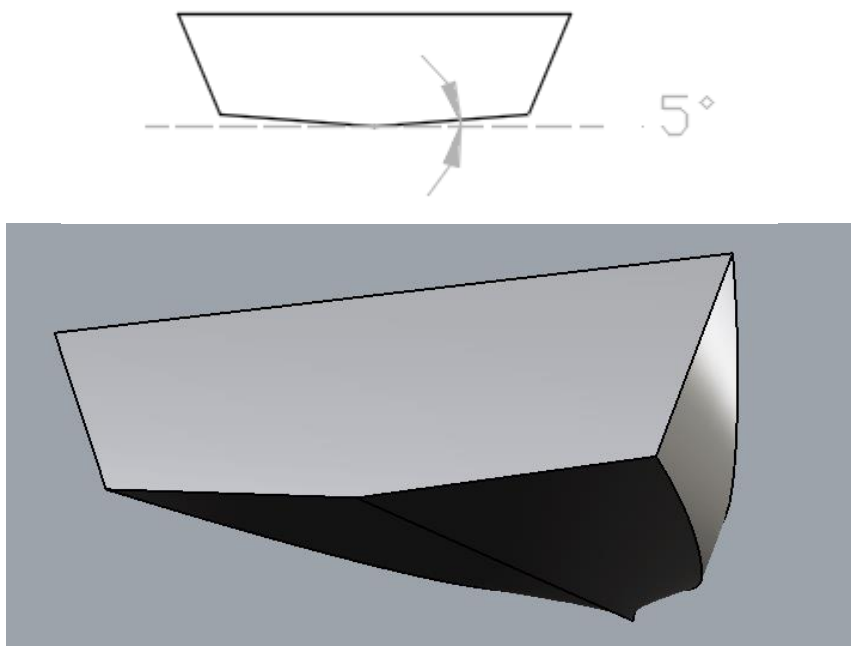


Figura 7 - Imagen y esquema en 3D del espejo de popa con un ángulo de astilla muerta de 5º

6.3 Calculo de la resistencia para los diferentes ángulos

Con el método mencionado anteriormente, Savitsky, los diferentes valores de resistencia al avance que se obtienen para un ángulo de astilla muerta de 3, 4 y 5 grados y con una velocidad de crucero de 10 nudos, son los siguientes:

	Modelo 3º	Modelo 4º	Modelo 5º
Resistencia a 10 kn	1573,94 N	1572,58 N	1560,89 N

Tabla 4 - Resistencias a 10 kn de velocidad para diferentes modelos

Los gráficos que corresponden a los diferentes modelos vistos anteriormente, son los siguientes:

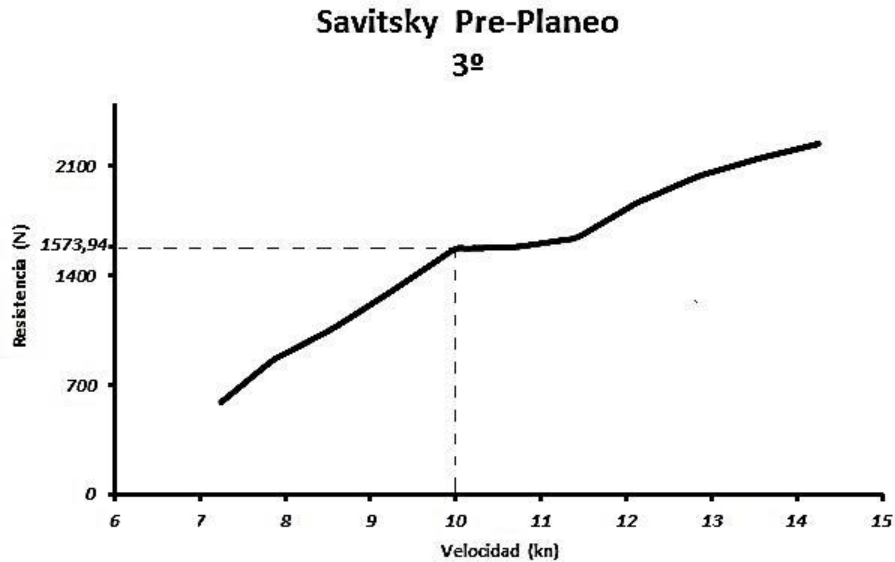


Grafico 5 - Resistencia vs. Velocidad para un ángulo de 3º

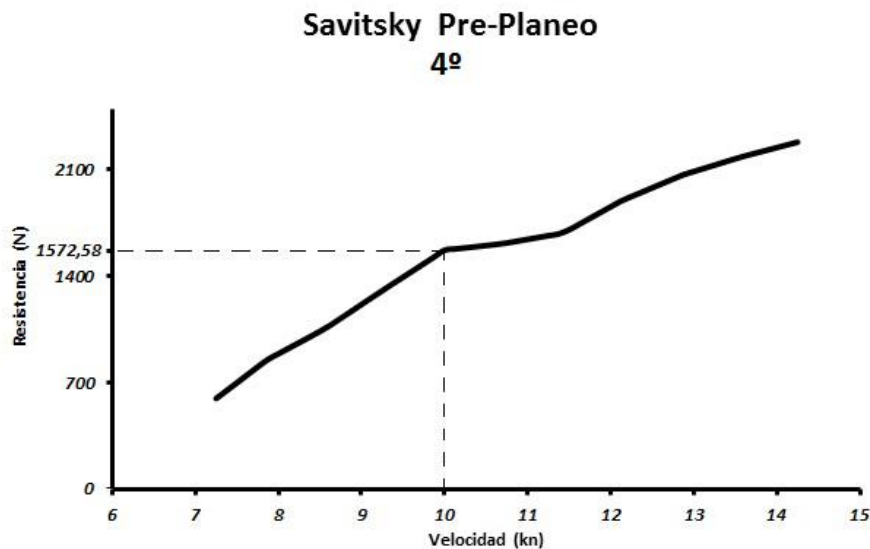


Grafico 6 - Resistencia vs. Velocidad para un ángulo de 4º

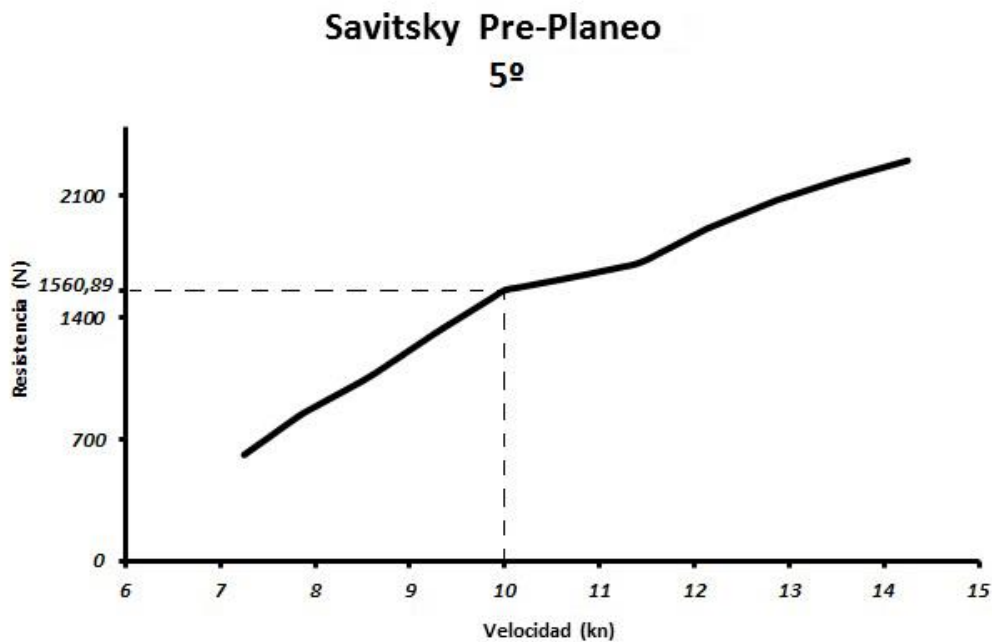


Gráfico 7 – Resistencia vs. Velocidad con un ángulo de 5º

Se puede observar que los distintos valores para cada uno de los modelos no difieren demasiado entre sí, por esta razón se elige el modelo con un ángulo de 3 grados consiguiendo resolver lo expuesto anteriormente: estabilidad en el rumbo, facilidad de construcción, formas simples y evitar las cargas excesivas cuando el fondo del buque golpea bruscamente con el oleaje.

6.4 Potencia de propulsión necesaria

Antes de todo, se tiene que calcular la potencia de propulsión a 10 Kn, o con un *software* o con la fórmula que la define. Se utilizará el valor de la resistencia obtenido con el modelo de 3º:

$$R = 1573,94 \text{ N}$$

$$Pot = v \cdot R = 8090,05 \text{ W} \quad (6)$$

<i>Pot</i>	es la potencia necesaria para el avance
<i>v</i>	es la velocidad del barco (5,14 m/s = 10 Kn)
<i>R</i>	es la resistencia al avance para el modelo de 3º

Esta potencia corresponde al diseño de la embarcación de 3ª. El valor de 8097,05 W (8,1 kW) indica la potencia necesaria para que el buque pueda navegar a 10 Kn de velocidad. Se tiene que tener en cuenta el rendimiento del motor, por eso se define un rendimiento bajo. Se define un valor de rendimiento del motor de 45%. Este valor viene dado por la experiencia y la amplia base de datos que posee la Oficina Técnica Ambesk para los rendimientos de motores fuera borda. Aun así, se ha querido calcular el rendimiento del motor mediante una aplicación web para corroborar el valor obtenido a partir de la oficina técnica.

Para la utilización de esta aplicación se debe introducir los siguientes datos que parecen en la imagen. Una vez introducidos, el programa te calcula la potencia necesaria y la velocidad para alcanzar dicha potencia.

Waterline length in feet:	31.8241 feet
Beam at the waterline in feet:	5.90 feet
Hull draft in feet (excluding keel):	0.8 feet
Vessel weight in pounds:	5400 lbs
Engine Horsepower:	25 HP
Number of engines:	1
Total Engine Horsepower:	25 HP
Engine R.P.M. (max):	6000 RPM
Gear Ratio:	1:1
Shaft R.P.M. (max):	6000 RPM
Number of shaft bearings (per shaft):	1
Hull Constant:	150
Desired speed in Knots:	10 knots
HP required at propeller(s) for desired 10 knots speed:	24.0 HP
Estimated speed with existing 25 horsepower: This is the speed we will use for the propeller size.	9.97 Knots

Tabla 5- Datos introducidos y obtenidos mediante la aplicación –Fuente (Pagina web www.Vicprop.com)

El programa nos da unos valores de 24 CV de potencia y 9,97 Kn de velocidad. Estos valores solo difieren un 1% de los calculados con el rendimiento del 45%. Es por eso, que se acepta como válido el rendimiento asignado mediante la Oficina Técnica Ambesk y, por lo tanto, a continuación se calcula la potencia mediante el rendimiento de 0,45 para una velocidad de 10 Kn.

Seguidamente, se puede estimar el valor de la potencia necesaria para que el barco llegue a los 10 Kn de velocidad:

$$Pot_i = \frac{Pot}{\eta} = 17977,88 \text{ W} = 24,44 \text{ CV} \quad (8)$$

Pot_i es la potencia instalada del motor (incluye rendimiento del 45%)

η es el rendimiento del motor (0,45)

Esta potencia es ligeramente inferior a la de los motores de menor potencia que se pueden encontrar en la isla de Azizakpe, por lo tanto, se asume que con un motor de 25 CV el buque podrá navegar a la velocidad de 10 Kn.

Podría ser que para la navegación con corrientes y con un poco de viento el barco necesitara una potencia superior a 25 CV para llegar a los 10 Kn. Esto implica usar un motor de 30 CV o, en algunos casos, superior a 30 CV. Esta opción se descarta, ya que la velocidad no es un requerimiento imprescindible y la comunidad de Azizakpe prefiere utilizar un motor de 25 CV de potencia basándose en el tema económico, ya que un motor de 25 CV gasta menos que uno de 30 CV y, de esta manera, también se reduce la inversión inicial de la ONG.

Por lo tanto, se instalará un motor fuera borda de 25 CV de potencia como principal sistema propulsivo y dos pares de remos como sistema auxiliar por si falla el motor de 25 CV.

7. ARREGLO ESTRUCTURAL Y ESCANTILLONADO DE LA EMBARCACIÓN

7.1 Método constructivo

El método constructivo ideal en estos casos viene dado por la sencillez y se basa en situar la quilla longitudinalmente con una serie de dientes para encajar las cuadernas transversales. A la vez, estas cuadernas tienen una serie de muescas para encajar los diferentes refuerzos longitudinales. Una vez se ha encajado la quilla, las cuadernas y los refuerzos, ya se puede forrar el barco con tablonés relativamente anchos (de unos 30 cm de ancho) que recorran toda la embarcación en el sentido longitudinal.

Los diferentes pasos a seguir para este método constructivo son:

- I. Plantillas: A partir del modelo 3d se dibujan los modelos de las cuadernas y de la parte de proa de la quilla para su posterior corte mediante cálculo numérico y envío de las plantillas mediante avión a Azizakpe.

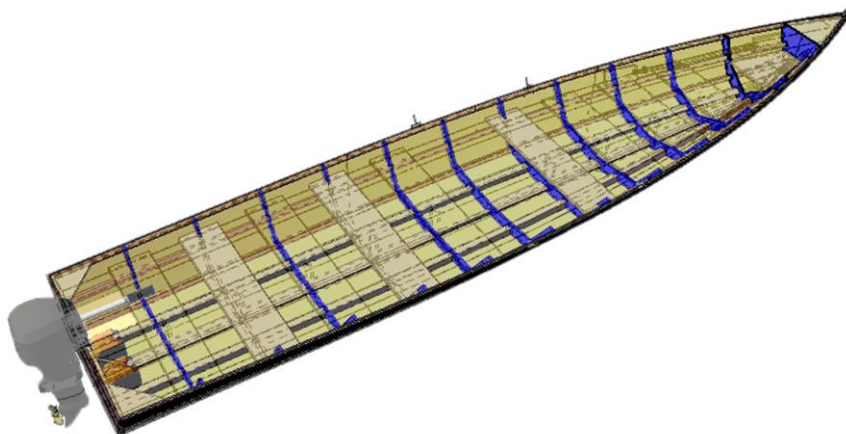


Figura 8 - Imagen del modelo 3d de la embarcación

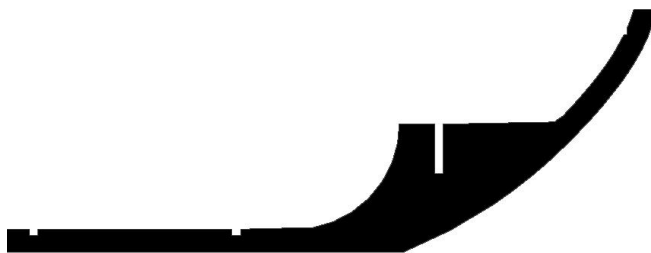


Figura 9 – Imagen de la plantilla de la proa de la quilla



Figura 10 - Imagen de las plantillas de las cuadernas

- II. Corte de piezas: A partir de las plantillas se cortan todas las piezas; cuadernas, quilla, tablones para el forro, los bancos...etc.

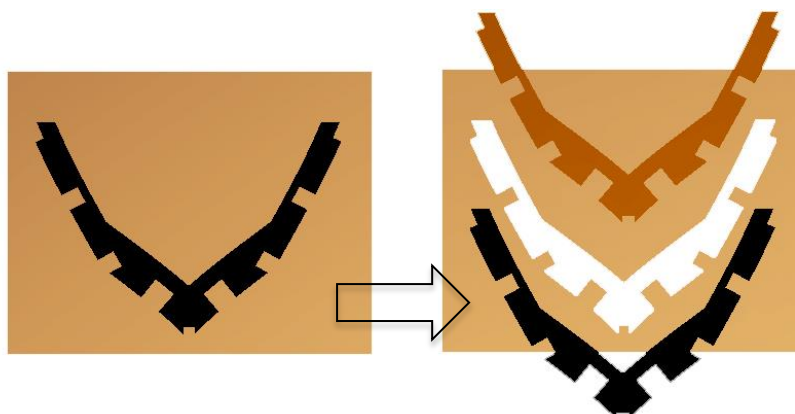


Figura 11 – Imagen del proceso de corte de la pieza mediante la plantilla

- III. Disposición de la quilla: Se dispone la quilla en el suelo sujeta toda ella mediante una caja. Observando otros barcos de características similares se puede observar que,

para una eslora de 10 metros, las regresiones indican que lo más efectivo es disponer de entre 12 y 15 cuadernas a lo largo de la eslora de la embarcación, incluyendo el espejo de popa. Las cuadernas irán perñadas con la quilla.

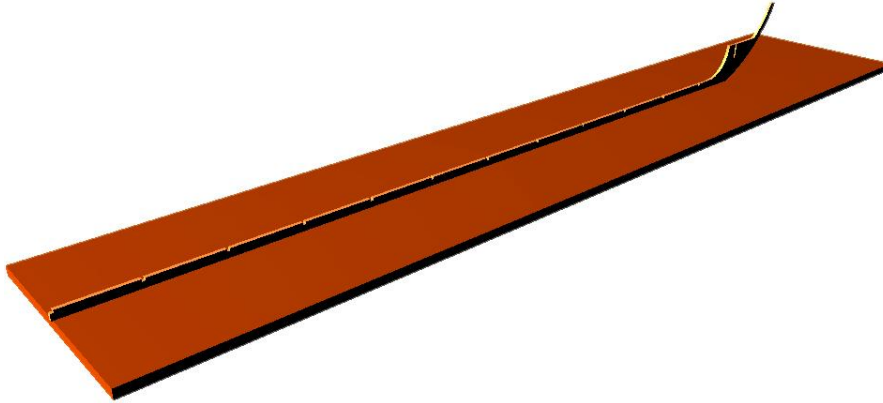


Figura 12 – Imagen de la disposición de la quilla en el suelo

IV. Disposición de las cuadernas: Las diferentes cuadernas se colocarán a una distancia equidistante de 770 mm a lo largo de toda la eslora del barco. Estas tienen unas muescas que sirven para encajar la quilla y los diferentes longitudinales. Así, la unión de todos los elementos estructurales es más sencilla y compacta. Después de colocar las cuadernas, se colocará encima y a lo largo de la quilla una falsa quilla (un elemento estructural que ayuda a reforzar todo el conjunto de la estructura de la embarcación).

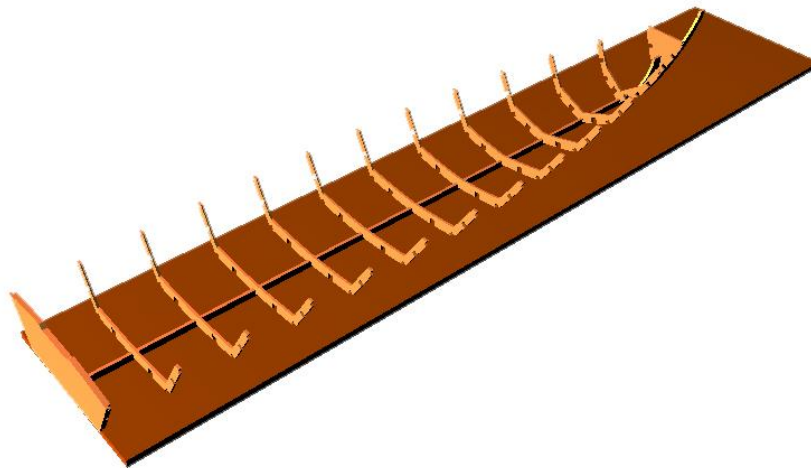


Figura 13 – Imagen del encaje entre la quilla y las cuadernas

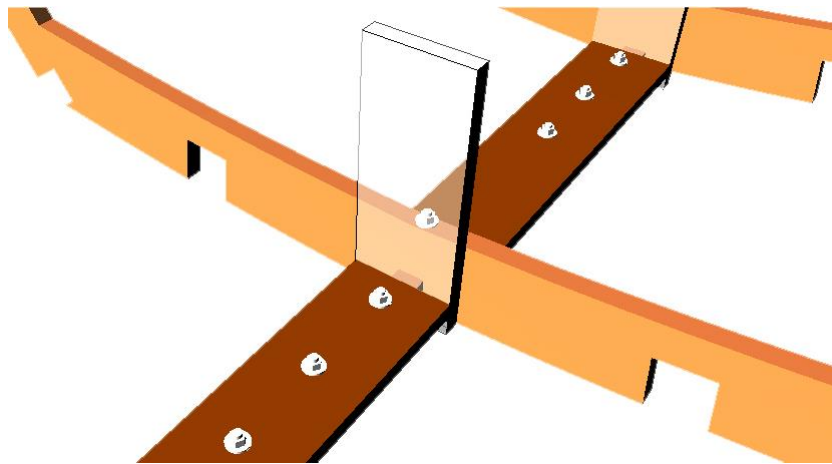
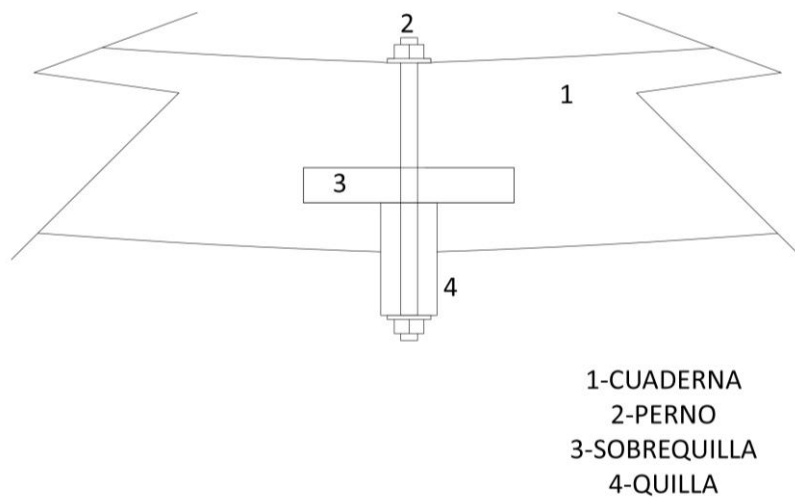


Figura 14 – Imagen de detalle en 3d de la quilla, cuaderna, puntal y sobrequilla



1-CUADERNA
2-PERNO
3-SOBREQUILLA
4-QUILLA

Figura 15 – Imagen de detalle de la unión con el perno de la quilla con la cuaderna

- V. Disposición de los longitudinales: De la misma manera que se colocan las cuadernas en la quilla, en este punto, se colocan los longitudinales en las muescas que tienen las diferentes cuadernas que conforman la estructura de la embarcación. Para poder recrear la curvatura de los longitudinales se deberá calentar y humedecer la madera, seguidamente los longitudinales irán clavados con pernos, a lo largo de los mismos, en la intersección con las diferentes cuadernas.

- VI. Cubrir la estructura con el forro: Una vez construida la estructura, se cubre con tablones de madera por la parte exterior de la misma. Para evitar uniones erróneas se utilizan tablones largos.
- VII. Disposición de elementos de refuerzo y bancos: Se dispone de cartelas tanto en proa, uno, como a popa, uno a babor y otro a estribor. También se dispone de bancos para que el pasaje se pueda sentar y al mismo tiempo se comporten como elemento de refuerzo para una mayor compactación de la estructura final. Estos se encajan a las cuadernas y a los puntales situados en la mitad de cada banco.



Figura 16 – Imagen de la disposición de los refuerzos

- VIII. Cubrir el forro de la embarcación con fibra y resina: Se utilizara fibra y resina para cubrir la embarcación por la parte exterior e interior. Este proceso se realiza para dar conformidad y compactación a la estructura y evitar que el agua penetre en el interior.

7.2 Disposición de los bancos

Siguiendo las diferentes posiciones de las cuadernas, se disponen los bancos haciendo coincidir cada uno de sus centros. Para que esta disposición sea ergonómica se coge como referencia la acomodación de los asientos de un autobús:

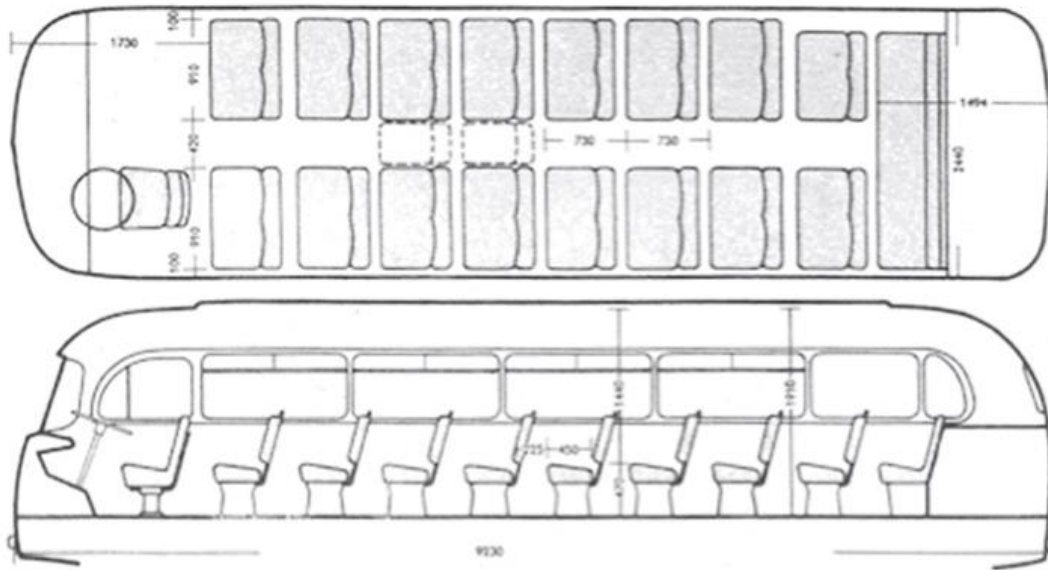


Figura 17– Imagen de la disposición de los bancos de un autobús- Fuente (Oficina Técnica Ambesk)

Siguiendo la posición de los bancos del autobús, se observa que los bancos están espaciados entre ellos a una distancia equidistante de 225 mm, con una amplitud de 450 mm (por la incomodidad de los bancos de madera en el barco se sobredimensiona el espacio entre ellos a 300 mm para asegurar la comodidad del pasaje). Como se ha comentado en el apartado anterior, la disposición de las cuadernas se encuentra entre 12 y 15 cuadernas.

Como se tienen que disponer los bancos encima de las cuadernas y estas están a una distancia equidistante, se puede observar que con 14 cuadernas, el espacio entre las mismas, es demasiado pequeño ya que con un banco de 450 mm de ancho el pasaje no estaría cómodo. Con 13 cuadernas se pueden disponer 9 bancos dejando un espacio en la parte central de la embarcación para la carga dejando un espacio entre bancos de 320 mm, por lo tanto, es una buena opción. De las 13 cuadernas, solamente la del espejo de popa, la de la zona de carga y las dos más cercanas a proa (debido a que la manga es menor y hace imposible que el pasaje pueda estar cómodo), no tendrá banco asociado.

Con 12 cuadernas, el espacio entre bancos es bueno pero se reduce el número de pasajeros.

Por lo tanto, la decisión final es reforzar la embarcación con 13 cuadernas (contando la del espejo de popa) y disponer de bancos en todas las cuadernas excepto a la del espejo de popa, a la de zona de carga y las dos situadas más a proa, tal y como se indica en la imagen:



Figura 18 - Imagen en 3d de la estructura de los bancos

De esta manera, queda un espacio equidistante entre bancos de 320 mm suficiente para la comodidad del pasaje durante el trayecto.

7.3 Escantillonado

7.3.1 Paneles de fondo y costado

A la hora de hacer el cálculo del escantillonado se utilizará la normativa ISO para asegurar que los parámetros que se suponen en cuanto a la estructura cumplan con la norma y así, poder establecer unos mínimos de seguridad.

Para esta embarcación se utilizará la norma ISO-12215-5:2008 que engloba todas las pequeñas embarcaciones de entre 2,5 y 24 m de eslora y con una velocidad máxima, menor a 50 Kn.

En esta norma se tienen que suponer algunos parámetros como la categoría de diseño, que en este caso es categoría de diseño C, ya que la embarcación está pensada para navegar en aguas donde la altura de las olas no supera nunca los dos metros y donde los vientos tendrán una fuerza igual o inferior a 6 en la escala Beaufort.

También se asume que la construcción del barco se hace con el método *strip planking*, que se basa en la construcción con el método *sandwich*, con la parte central muy gruesa y los recubrimientos laterales finos (la fina capa de fibra de vidrio y resina que se empleará para la construcción).

Utilizando unas presiones de diseño máximas entre el modo de desplazamiento y el de planeo, ya que el barco puede que navegue en cualquiera de estos dos métodos, el escantillonado se calcula con la siguiente fórmula:

$$t = b \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}} \quad (9)$$

b	es la dimensión menor del panel
P	es la presión de diseño (fondo, costado, cubiertas) de los paneles
k_2	= 0,5 ja que la fusta es muy anisótropa
σ_d	es la tensión de diseño para la madera

Se asume mediante la ficha de las propiedades mecánicas, que la madera utilizada (IROKO) tendrá unas tensiones de diseño de 52 N/mm².

Para hacer el cálculo, se tiene que dividir el barco en diferentes paneles para poder analizar de manera más exacta los requerimientos de cada parte de la embarcación. A continuación están los paneles del barco numerados:

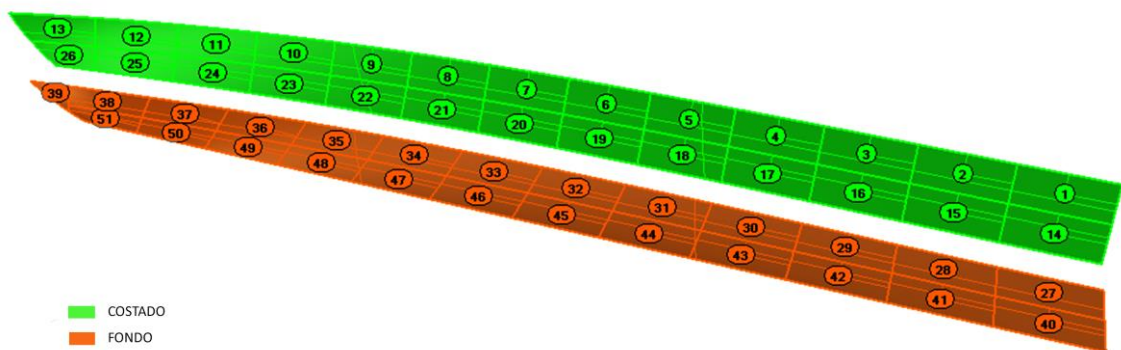


Figura 19 – Imagen de la partición de los paneles

Con estas tablas elaboradas en Excel se obtienen los espesores siguientes en el fondo y costados del buque:

Costado (paneles altos)																			
x (m)	Lpanel (m)	bpanel (m)	Z (m)	h (m)	Psm=	Psm min=	Pbmd base	Pdm base=	Kz=	Ka=	Kl=	x/Lw/=	Ncg=	Kr=	Ad=	P=	od=	t (mm)	
1	9,135	0,7714	0,323	0,3575	0,2133	13,156444	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6916782	1	0,9593573	1,2299118	1,4031	0,25	13,156444	26	5,1377162
2	8,365	0,7712	0,3258	0,3534	0,2094	13,173681	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6895301	1	0,8784919	1,2299118	1,40226	0,25	13,173681	26	5,1856473
3	7,595	0,7708	0,328	0,3497	0,2062	13,183567	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6879225	1	0,7976265	1,2299118	1,4016	0,25	13,183567	26	5,2226225
4	6,825	0,7704	0,3296	0,3476	0,2047	13,172468	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6867907	1	0,7167612	1,2299118	1,40112	0,25	13,172468	26	5,2458891
5	6,056	0,77	0,3302	0,3479	0,2057	13,13237	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6864348	1	0,6360008	1,2299118	1,40094	0,25	13,13237	26	5,2474336
6	5,286	0,7698	0,3302	0,3516	0,21	13,048922	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,6864883	1	0,5551355	1,2299118	1,40094	0,25	13,048922	26	5,2307349
7	4,516	0,7698	0,3288	0,3592	0,2185	12,914199	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,68757	1	0,4742701	1,2299118	1,40136	0,25	12,914199	26	5,1815999
8	3,747	0,7738	0,6284	0,372	0,1044	13,486123	5,14188	52,068858	17,9327	0,7	0,5290081	1	0,3935098	1,2299118	1,31148	0,49	13,486123	26	10,119943
9	2,977	0,7766	0,614	0,3905	0,1277	13,10316	5,14188	52,068858	17,9327	0,7	0,5338758	1	0,3126444	1,2299118	1,3158	0,48	13,10316	26	9,7466355
10	2,208	0,7816	0,5936	0,4163	0,1588	12,669673	5,14188	52,068858	17,9327	0,6	0,5407814	1	0,2318841	1,2299118	1,32192	0,46	12,669673	26	9,2656295
11	1,439	0,7772	0,5658	0,45	0,1992	12,262999	5,14188	52,068858	17,9327	0,6	0,5530163	1	0,1511237	1,2299118	1,33026	0,44	12,262999	26	8,6887962
12	0,67	0,803	0,5302	0,4926	0,2503	11,727318	5,14188	52,068858	17,9327	0,5	0,5628892	1	0,0703634	1,2299118	1,34094	0,43	11,727318	26	7,9622793
13	0,027	0,648	0,4424	0,5433	0,3311	12,123185	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,64625	1	0,0028355	1,2299118	1,36728	0,29	12,123185	26	6,7549448
																		tmax:	10,119943
Costado (paneles bajos)																			
14	9,136	0,7702	0,3216	0,0693	-0,074	36,812586	5,14188	52,068858	17,9327	2,1	0,6931111	1	0,9594623	1,2299118	1,40352	0,25	36,812586	26	8,5568226
15	8,366	0,77	0,3216	0,0658	-0,0756	37,967061	5,14188	52,068858	17,9327	2,1	0,6931651	1	0,8785969	1,2299118	1,40352	0,25	37,967061	26	8,6899616
16	7,596	0,7696	0,3208	0,0631	-0,0761	38,819194	5,14188	52,068858	17,9327	2,2	0,69391	1	0,7977316	1,2299118	1,40376	0,25	38,819194	26	8,7650813
17	6,826	0,7692	0,3196	0,0622	-0,0747	38,806902	5,14188	52,068858	17,9327	2,2	0,6949771	1	0,7168662	1,2299118	1,40412	0,25	38,806902	26	8,7309115
18	6,057	0,769	0,3176	0,0639	-0,0707	37,550654	5,14188	52,068858	17,9327	2,1	0,6966391	1	0,6361059	1,2299118	1,40472	0,24	37,550654	26	8,5346865
19	5,287	0,7686	0,3146	0,0694	-0,063	34,843187	5,14188	52,068858	17,9327	1,9	0,6991821	1	0,5552405	1,2299118	1,40562	0,24	34,843187	26	8,1435915
20	4,517	0,7686	0,3102	0,0786	-0,0507	31,241513	5,14188	52,068858	17,9327	1,6	0,7028021	1	0,4743751	1,2299118	1,40694	0,24	31,241513	26	7,6033704
21	3,747	0,7738	0,6284	0,372	0,1044	13,486123	5,14188	52,068858	17,9327	0,7	0,5290081	1	0,3935098	1,2299118	1,31148	0,49	13,486123	26	10,119943
22	2,977	0,7766	0,614	0,3905	0,1277	13,10316	5,14188	52,068858	17,9327	0,7	0,5338758	1	0,3126444	1,2299118	1,3158	0,48	13,10316	26	9,7466355
23	2,208	0,7816	0,5936	0,4163	0,1588	12,669673	5,14188	52,068858	17,9327	0,6	0,5407814	1	0,2318841	1,2299118	1,32192	0,46	12,669673	26	9,2656295
24	1,439	0,7772	0,5658	0,45	0,1992	12,262999	5,14188	52,068858	17,9327	0,6	0,5530163	1	0,1511237	1,2299118	1,33026	0,44	12,262999	26	8,6887962
25	0,67	0,803	0,5302	0,4926	0,2503	11,727318	5,14188	52,068858	17,9327	0,5	0,5628892	1	0,0703634	1,2299118	1,34094	0,43	11,727318	26	7,9622793
26	0,027	0,648	0,4424	0,5433	0,3311	12,123185	5,14188	52,068858	17,9327	0,4	0,64625	1	0,0028355	1,2299118	1,36728	0,29	12,123185	26	6,7549448
																		tmax:	10,119943

Tabla 6 - Datos de los paneles de costado

Fondo (paneles externos)																	
x (m)	Lpanel (m)	bpanel (m)	Pbmd=	Pbm min=	Pbmd base	Pbpm=	Pbpm base	Ka=	Kl=	x/Lw/=	Ncg=	Kr=	Ad=	P=	od=	t (m)	
27	9,135	0,7718	0,3434	21,119716	11,154791	52,068858	18,494846	27,358479	0,6760188	1	0,9593573	1,2299118	1,39698	0,2650361	21,119716	26	6,9205827
28	8,365	0,7726	0,35	20,963162	11,154791	52,068858	18,357749	27,358479	0,6710077	1	0,8784919	1,2299118	1,395	0,27041	20,963162	26	7,0274016
29	7,595	0,7726	0,358	20,785692	11,154791	52,068858	18,202336	27,358479	0,6653271	1	0,7976265	1,2299118	1,3926	0,2765908	20,785692	26	7,1575369
30	6,825	0,7718	0,3648	20,644828	11,154791	52,068858	18,078979	27,358479	0,6608182	1	0,7167612	1,2299118	1,39056	0,2815526	20,644828	26	7,2687342
31	6,056	0,7702	0,3684	20,580919	11,154791	52,068858	18,023014	27,358479	0,6587725	1	0,6360008	1,2299118	1,38948	0,2837417	20,580919	26	7,3290948
32	5,287	0,7682	0,3664	20,639553	11,154791	52,068858	18,07436	27,358479	0,6606493	1	0,5552405	1,2299118	1,39008	0,2814685	20,639553	26	7,2996819
33	4,518	0,7654	0,3572	20,861747	11,154791	52,068858	18,268938	27,358479	0,6677615	1	0,4744802	1,2299118	1,39284	0,2734009	20,861747	26	7,154596
34	3,75	0,7616	0,339	21,306484	11,154791	52,068858	18,658401	27,358479	0,681997	1	0,3938248	1,2299118	1,3983	0,2581824	21,306484	26	6,8620506
35	2,984	0,7862	0,597	16,823143	11,154791	52,068858	14,732274	27,358479	0,5384902	1	0,3133795	1,2299118	1,3209	0,4693614	16,823143	26	10,73807
36	2,218	0,7938	0,512	17,904789	11,154791	52,068858	15,679487	27,358479	0,5731125	1	0,2329343	1,2299118	1,3464	0,4064256	17,904789	26	9,5006406
37	1,451	0,8016	0,4134	19,453739	11,154791	52,068858	17,035925	27,358479	0,6226927	1	0,152384	1,2299118	1,37598	0,3313814	19,453739	26	7,995955
38	0,682	0,8106	0,334	21,027589	11,154791	52,068858	18,414169	27,358479	0,6730699	1	0,0716236	1,2299118	1,3998	0,2707404	21,027589	26	6,7164461
39	0,15	0,2672	0,171	37,11232	11,154791	52,068858	32,499804	27,358479	1,1879244	1	0,015753	1,2299118	1,4487	0,0456912	37,11232	26	4,5682882
																tmax	10,73807
Fondo (paneles internos)																	
40	9,135	0,772	0,3438	21,108887	11,154791	52,068858	18,485363	27,358479	0,6756722	1	0,9593573	1,2299118	1,39686	0,2654136	21,108887	26	6,9268674
41	8,365	0,7728	0,3506	20,948063	11,154791	52,068858	18,344527	27,358479	0,6705244	1	0,8784919	1,2299118	1,39482	0,2709437	20,948063	26	7,0369129
42	7,595	0,7726	0,3586	20,772567	11,154791	52,068858	18,190842	27,358479	0,6649069	1	0,7976265	1,2299118	1,39242	0,2770544	20,772567	26	7,1672689
43	6,825	0,7716	0,3648	20,646433	11,154791	52,068858	18,080385	27,358479	0,6608695	1	0,7167612	1,2299118	1,39056	0,2814797	20,646433	26	7,2690168
44	6,056	0,7696	0,3666	20,624015	11,154791	52,068858	18,060753	27,358479	0,6601519	1	0,6360008	1,2299118	1,39002	0,2821354	20,624015	26	7,3009167
45	5,288	0,7666	0,3616	20,75581	11,154791	52,068858	18,176168	27,358479	0,6643706	1	0,5553455	1,2299118	1,39152	0,2772026	20,75581	26	7,2243137
46	4,52	0,7628	0,3474	21,102516	11,154791	52,068858	18,479783	27,358479	0,6754682	1	0,4746902	1,2299118	1,39578	0,2649967	21,102516	26	6,983436
47	3,752	0,7578	0,3226	21,734492	11,154791	52,068858	19,033214	27,358479	0,6956971	1	0,3940349	1,2299118	1,40322	0,2444663	21,734492	26	6,5953438
48	2,984	0,7862	0,597	16,823143	11,154791	52,068858	14,732274	27,358479	0,5384902	1	0,3133795	1,2299118	1,3209	0,4693614	16,823143	26	10,73807
49	2,218	0,7938	0,512	17,904789	11,154791	52,068858	15,679487	27,358479	0,5731125	1	0,2329343	1,2299118	1,3464	0,4064256	17,904789	26	9,5006406
50	1,451	0,8016	0,4134	19,453739	11,154791	52,068858	17,035925	27,358479	0,6226927	1	0,152384	1,2299118	1,37598	0,3313814	19,453739	26	7,995955
51	0,682	0,8106	0,334	21,027589	11,154791	52,068858	18,414169	27,358479	0,6730699	1	0,0716236	1,2299118	1,3998	0,2707404	21,027589	26	6,7164461
																tmax	10,73807

tener como mínimo un espesor del forro de 10,73 mm. Como los tablones de madera con los que se forrará el barco son más gruesos se asume que serán de unos 25 mm aproximadamente. La embarcación cumplirá con los parámetros de la normativa.

7.3.2 Calculo de los refuerzos longitudinales y transversales según la ISO

En este apartado se pretende calcular las medidas necesarias de los refuerzos longitudinales (esloras) y los refuerzos transversales (cuadernas) para que la embarcación cumpla con unos estándares mínimos de seguridad en cuanto a la estructura de la misma.

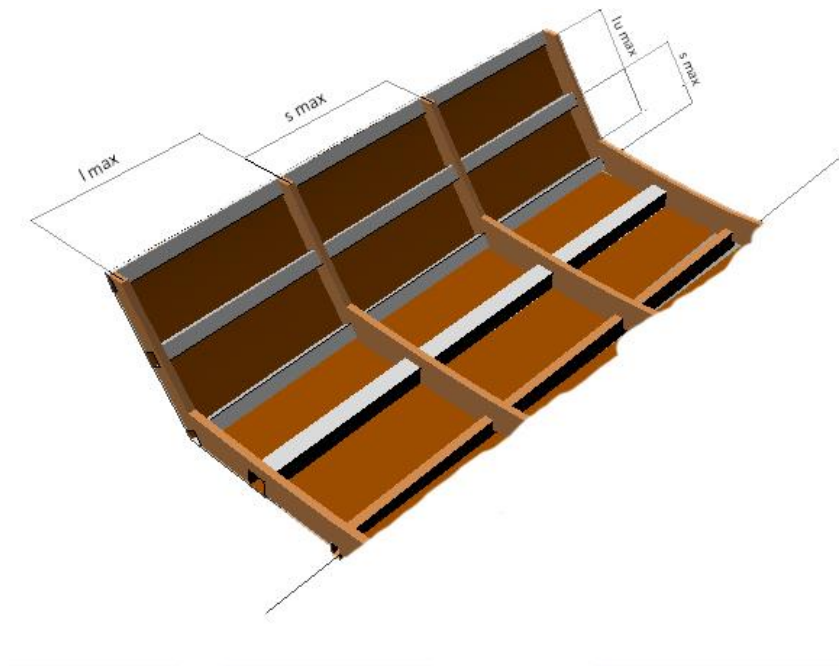


Figura 20- Imagen de la configuración de los refuerzos transversales y longitudinales

Una vez se dispone de la estructura, se calcula el módulo resistente y el área de la sección según los perfiles utilizados en los longitudinales, quilla y cuadernas y se compara con los valores del módulo resistente y del área de la sección obtenidos a partir de la normativa, introduciendo las medidas vistas en la imagen anterior de la disposición de la estructura de la embarcación.

Para que el resultado sea válido los valores del módulo resistente y del área de sección de los elementos calculados tienen que ser mayores a los valores obtenidos mediante la norma. Para este caso, las dimensiones de los refuerzos están dentro de la norma, por lo tanto, son válidos.

DIMENSION DE REFUERZOS

COSTADO													
LONGITUDINALES EN EL COSTADO Y EN LA REGALA										Secció del longitudinal de 6x6			
l màx	s màx	ksa	kcs	P màx	td	od	Aw (cm2)	SM (cm3)		Mòdul resistent mínim que tenemos=			
770	310	5	1	38,819194	4,4	20,8	10,529706	23,5		25,455844	>	23,5	✓
CUADERNAS EN LOS COSTADOS										Área de la sección=			
500	770	5	1	38,819194	4,4	20,8	16,983398	29,937484		36	>	10,5	✓
FONDO										Secció de les quadernes al fons de 3x9			
LONGITUDINALES EN EL FONDO Y EN EL PANTOQUE Y QUILLA										Mòdul resistent mínim que tenemos=			
l màx	s màx	ksa	kcs	P màx	td	od	Aw (cm2)	SM (cm3)		40,5	>	29,9	✓
770	310	7,5	1	37,11232	4,4	20,8	15,100075	27,327462		Área de la sección=			
CUADERNAS EN EL FONDO										27	>	17	✓
l u màx	s màx	ksa	kcs	P màx	td	od	Aw (cm2)	SM (cm3)		Secció de la quilla de 9x12			
800	770	7,5	1	37,11232	4,4	20,8	38,967936	73,270111		Mòdul resistent mínim que tenemos=			
										216	>	27,3	✓
										Área de la sección=			
										108	>	15,1	✓
										Secció de les quadernes al fons de 3x13,5			
										Mòdul resistent mínim que tenemos=			
										91,125	>	73,3	✓
										Área de la sección=			
										40,5	>	39	✓

Tabla 8 – Validación de los refuerzos del barco según la ISO

8. SISTEMAS AUXILIARES

En las embarcaciones de estas características, no hay lugar para sistemas auxiliares complejos.

Los sistemas auxiliares que tendrá el barco son los siguientes:

- I. Depósitos de combustible: Se tendrá en cuenta que se deberá disponer de una cantidad suficiente de combustible para unas 8 horas de navegación. Se ha consultado la ficha técnica de un motor de Yamaha de 25 CV de potencia para conocer el consumo en litros durante una hora. Si el motor trabaja a revoluciones bajas el consumo será de 4 litros por hora. Se puede calcular el volumen de los depósitos de combustible con la siguiente fórmula:

$$V_c = C \cdot t = 32 \text{ l} \quad (10)$$

V_c es el volumen del combustible adicional a bordo

C es el consumo en litros por hora

t es el tiempo de navegación que puede hacer el barco sin repostar, en horas

Estos 32 litros se dividirán en dos depósitos de 16 litros para facilitar el manejo de los mismos.

- II. Sistema auxiliar de propulsión: Como se ha comentado en apartados anteriores, se puede disponer de dos pares o más de remos por si el motor principal falla. No es inusual, a la desembocadura del río Volta, la navegación a remo; de hecho, todo lo contrario. Los remos que se elegirán serán los comunes de la zona, como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 21 – Imagen de los remos para la embarcación como sistema propulsivo secundario-Fuente (Libro: *Como diseñar un barco* de John Teale)

- III. Reserva de flotabilidad: En muchos barcos de esloras pequeñas, es habitual añadir reservas de flotabilidad por seguridad. Estas reservas actúan como un flotador

cuando el barco se hunde ayudando a mantener su estabilidad y la flotabilidad del mismo. En este caso, en los buques similares el problema es la elección de donde se debe colocar estas reservas de flotabilidad. Básicamente el problema es que las reducidas dimensiones y la necesidad de mantener el espacio para los pasajeros y la carga hacen que sea imposible la instalación de todos los volúmenes necesarios para poder asegurar la flotabilidad del barco en caso de hundimiento. Aunque no se instalará el volumen total de las reserva de flotabilidad, se podría añadir a la nave para reducir al mínimo, el peligro de inundaciones que puedan ocurrir. La opción más óptima sería rellenar algunos espacios del barco con *porexpan* para crear más volumen de aire y por lo tanto que no se llene de agua. Como no se instalará ninguna reserva de flotabilidad, cada pasajero tendrá que llevar chaleco salvavidas

9. PESOS FINALES Y ESTABILIDAD

9.1 Pesos definitivos de la embarcación

Finalmente, una vez se han validado todas las medidas de la estructura se efectúa un último cálculo de los pesos para asegurar que el barco esté en una posición horizontal paralela al agua y para validar todas las suposiciones hechas al inicio del proyecto en relación al peso del barco. El primer paso es confeccionar una tabla con todos los elementos que afectan al peso total de la embarcación. En esta tabla se tiene que introducir, también, el peso total de las personas que irán en el buque, es decir, todo el peso del pasaje. El francobordo mínimo establecido por la ISO que debe tener la embarcación dependerá del peso de la misma, por este motivo una vez se ha determinado el peso de la estructura, del motor y de la carga, se irá sumando los pesos de cada persona, que por normativa es de 75 Kg, hasta llegar al francobordo mínimo.

En esta tabla se tienen en cuenta los siguientes conceptos:

- Un motor de 75 kg.
- Una carga de 250 kg.
- Una estructura de cuadernas, longitudinales, bancos, puntales para los bancos, elementos de refuerzo y sobrequilla en Kg.
- La madera del forro (de 165 kg) y el recubrimiento con fibra de vidrio y resina (se puede aproximar a 50 Kg, ya que el peso no se puede establecer de forma exacta). El peso de la fibra y de la resina se calcula a partir de una aproximación de 300 kg de fibra por cada m^2 que recubre de superficie y teniendo en cuenta que, el laminado es manual y que el peso de la fibra, en el método manual, es de un 30% por 70% de resina.
- Dos depósitos de combustible con un peso de 16 Kg cada uno (32 Kg en total).
- 21 personas de 75 kg cada una; contando los pasajeros y el patrón de la embarcación. Esto es un total de 1575 Kg ($21 \times 75 = 1575$ Kg).

La tabla de pesos introducida al *software* es la siguiente:

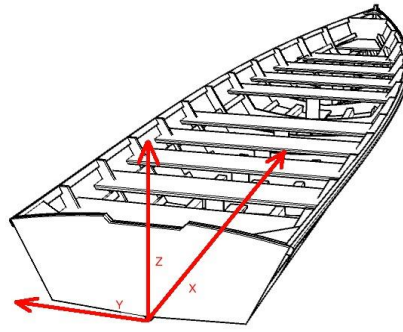


Figura 22 – Imagen del barco posicionado sobre los ejes XYZ

Elementos	Cantidad	Peso (kg)	Posición Longitudinal (m)	Posición Transversal (m)	Posición Vertical (m)
MOTOR	1	71	-0,256	0	0,55
COMBUSTIBLE.1	1	16	0,15	0,15	0,2
COMBUSTIBLE.2	1	16	0,15	-0,15	0,2
FORRO(164,9Kg) + FIBRA(50Kg)	1	214,9	4,315	0	0,216
ESTRUCTURA	1	172,6	6,355	0	1,457
CARGA	1	250	4,6	0	0,4
P1	1	75	0,215	0	0,84
P2	1	75	0,797	0,47	0,699
P3	1	75	0,797	0	0,699
P4	1	75	0,797	-0,47	0,699
P5	1	75	1,567	0,47	0,699
P6	1	75	1,567	0	0,699
P7	1	75	1,567	-0,47	0,699
P8	1	75	2,337	0,47	0,699
P9	1	75	2,337	0	0,699
P10	1	75	2,337	-0,47	0,699
P11	1	75	3,107	0,47	0,699
P12	1	75	3,107	0	0,699
P13	1	75	3,107	-0,47	0,699
P14	1	75	3,877	0,47	0,699
P15	1	75	3,877	0	0,699
P16	1	75	3,877	-0,47	0,699
P17	1	75	5,417	0,47	0,699
P18	1	75	5,417	0	0,699
P19	1	75	5,417	-0,47	0,699
P20	1	75	6,18	0,47	0,699
P21	1	75	6,18	-0,47	0,699
Total Carga máxima		2315,5	2,933	0	0,661

Tabla 9 – Desglose de los pesos de la embarcación

El desplazamiento final de la embarcación (2315,5 Kg) no llega al desplazamiento máximo calculado para el francobordo mínimo que establece la ISO (2594,6 Kg). Es por este motivo que se elevará la cantidad de personas a bordo a 23 contando el patrón del barco.

9.1.1 Desplazamiento a máxima carga

Elementos	Cantidad	Peso (kg)	Posición Longitudinal (m)	Posición Transversal (m)	Posición Vertical (m)
MOTOR	1	71	-0,256	0	0,55
COMBUSTIBLE.1	1	16	0,15	0,15	0,2
COMBUSTIBLE.2	1	16	0,15	-0,15	0,2
FORRO(164,9Kg) + FIBRA(50Kg)	1	214,9	4,315	0	0,216
ESTRUCTURA	1	172,6	6,355	0	1,457
CARGA	1	250	4,6	0	0,4
P1	1	75	0,215	0	0,84
P2	1	75	0,797	0,47	0,699
.
.
.
P21	1	75	6,18	-0,47	0,699
P22	1	75	6,957	0,47	0,699
P23	1	75	6,957	-0,47	0,699
Total Carga máxima		2465,5	3,648	0	0,656

Tabla 10 – Datos finales del desplazamiento y su posición en los ejes con 23 personas

Finalmente el desplazamiento a plena carga del barco es de 2465,5 Kg como se indica en la anterior tabla. La posición del centro de gravedad de la embarcación a plena carga es la siguiente:

- Longitudinalmente: a 3,648 m des de popa.
- Verticalmente: a 0,656 m des de la quilla.
- Transversalmente: a la línea de crujía.

Seguidamente se puede observar una aproximación de la posición del centro de gravedad de la embarcación a plena carga:

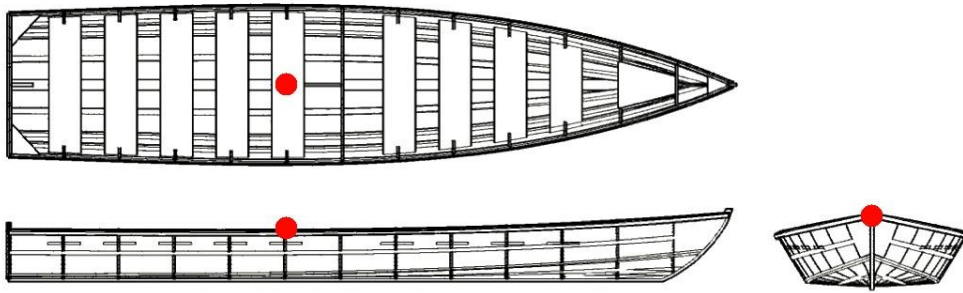


Figura 23 – Imagen del posicionamiento del centro de gravedad del desplazamiento máximo del barco

9.1.2 Desplazamiento a mínima carga

Una vez estudiado el peso máximo de la embarcación, obteniendo su valor y su posición en el plano, se debe estudiar el comportamiento del barco cuando navegue en una situación de mínima carga. Para ello se realiza la misma tabla con la que se ha estudiado el caso anterior pero solo teniendo en cuenta el peso del motor, de la carga (que en este caso es el doble para aprovechar el viaje sin pasajeros) de la estructura, del forro y con un pasaje de dos personas.

Elementos	Cantidad	Peso (kg)	Posición Longitudinal (m)	Posición Transversal (m)	Posición Vertical (m)
MOTOR	1	71	-0,256	0	0,55
COMBUSTIBLE.1	1	16	0,15	0,15	0,2
COMBUSTIBLE.2	1	16	0,15	-0,15	0,2
FORRO(164,9Kg) + FIBRA(50Kg)	1	214,9	4,315	0	0,216
ESTRUCTURA	1	172,6	6,355	0	1,457
CARGA 1	1	250	4,6	0	0,4
CARGA 2	1	250	5,417	0	0,699
P1	1	75	0,215	0	0,84
P2	1	75	4,6	0	0,4

Total Carga máxima	1140,5	2,041	0	0,570
--------------------	--------	-------	---	-------

Tabla 11 – Desglose de los pesos para la mínima carga

Para la situación de mínima carga es necesario que haya dos personas a bordo. El primero, encargado del manejo del barco y el segundo, situado en la parte central de la embarcación, para controlar la carga.

9.2 Estabilidad

Para el cálculo de la estabilidad del barco se utiliza un *software* de uso común en el ámbito naval. Este programa ayuda a realizar el cálculo consiguiendo datos de forma más precisa y eficaz que manualmente.

La normativa aplicable a la estabilidad de la embarcación es la ISO 12217 y siguiendo este criterio se puede validar la estabilidad y por lo tanto la seguridad de la embarcación.

9.2.1 Caso carga máxima

A partir de este *software* se obtienen los datos siguientes:

DATOS HIDROSTÁTICOS:

- Eslora en flotación: 9,489 m
- Manga en flotación: 1,705 m
- Asiento (*trim*): 0,1º
- Desplazamiento: 2.465 kg
- BMT: 1 m

DATOS DE LA CURVA GZ:

- Angulo de escora para el momento adrizante: 40 º
- Distancia GZ máximo: 0,1 m
- Angulo GZ máximo: 22 º

Para estudiar la estabilidad se tiene que observar la curva GZ en función del ángulo de escora. Se puede observar en el siguiente gráfico que para la situación de máxima carga existe un momento adrizante de la embarcación hasta los 40 º de escora. Si este ángulo no supera los 40 º el barco volverá a su posición inicial sin ningún tipo de ayuda, gracias a la fuerza de empuje (b). La línea GZ es la que esta dibujada en rojo en la siguiente figura:

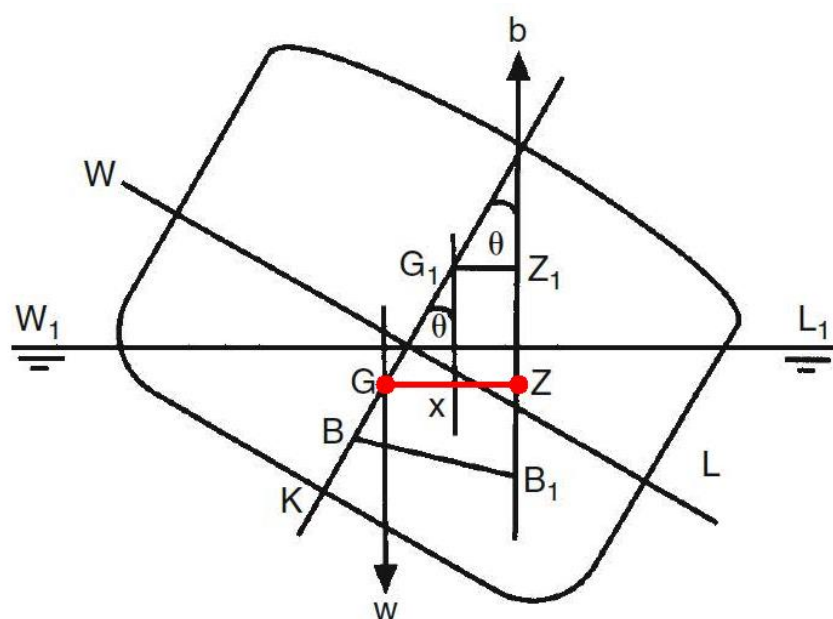


Figura 24 – Esquema para la visualización de la línea GZ

La curva GZ de la embarcación en el caso de máxima carga es:

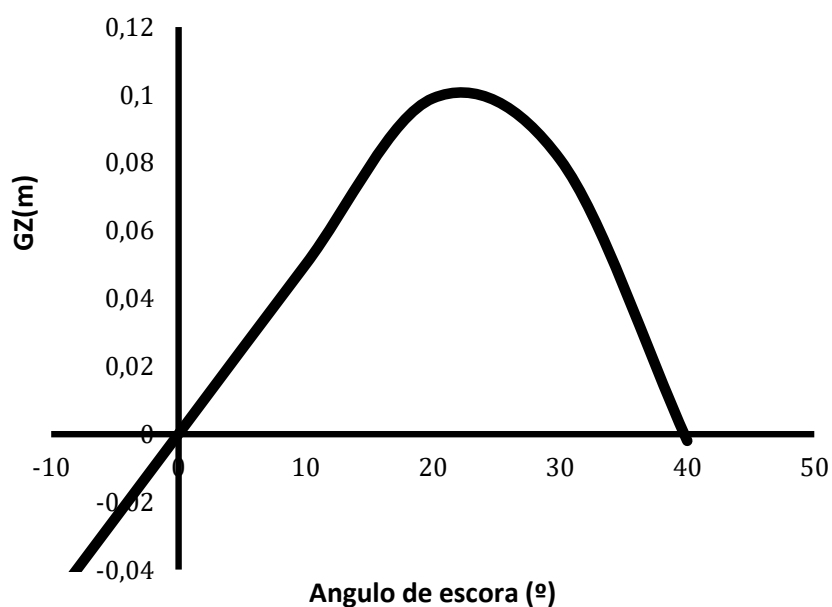


Gráfico 8 - GZ vs Ángulo de escora para el caso de máxima carga

En este caso, el valor máximo de GZ está en el entorno de los 22° . Se puede considerar válido los resultados obtenidos a través del *software*, ya que se necesita un ángulo de 40° para volcar el barco y las condiciones de oleaje y de viento de la zona no suponen ningún riesgo para que el barco llegue a ese valor. Decir que el *software* ayuda a identificar si hay algún problema en el diseño del barco y si cumple con la normativa ISO referente a la estabilidad. En este caso, el programa ha validado el diseño y los valores obtenidos de la curva de estabilidad.

9.2.1.1 Primer criterio de estabilidad para máxima carga

En este primer criterio de estabilidad para el caso de máxima carga se supondrá que seis de los pasajeros de la parte de proa se desplazan hacia babor una distancia de 0,5 m.

Para que cumpla el criterio de estabilidad para el caso de máxima carga el valor GZ de la siguiente ecuación tiene que estar dentro de la curva GZ del gráfico de máxima carga.

$$GZ = \frac{P * d}{\Delta} = 0,09 \text{ m} \quad (10)$$

GZ	Distancia del desplazamiento horizontal del centro de gravedad(m)
P	Pesos de las personas desplazadas(Kg)
d	Distancia que se desplazan las personas (m)
Δ	Desplazamiento de la embarcación (Kg)

DATOS DE LA CURVA GZ :

- Ángulo de escora: 15°
- Ángulo de escora máximo: $28,9^\circ$

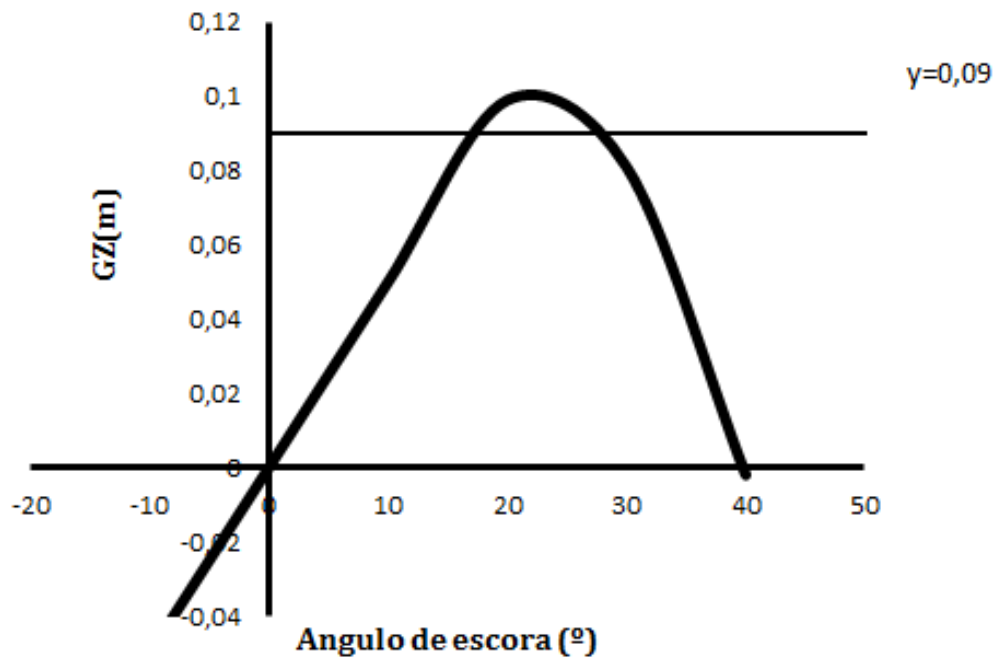


Gráfico 9 - GZ vs Ángulo de escora para el primer criterio

Se puede observar que para este caso el valor GZ está por debajo de la curva y eso nos dice que la embarcación es estable. Aun así, el valor de la recta y debería ser más pequeño para poder asegurar aún más la estabilidad del barco para este caso. Para que el barco aumente su estabilidad se ha pensado en ampliar la manga, bajar el centro de gravedad disminuyendo la altura de los bancos o poniendo un flotador a babor y a estribor. Estas mejoras se plantean para tener en cuenta en una futura segunda vuelta en la espiral de diseño.

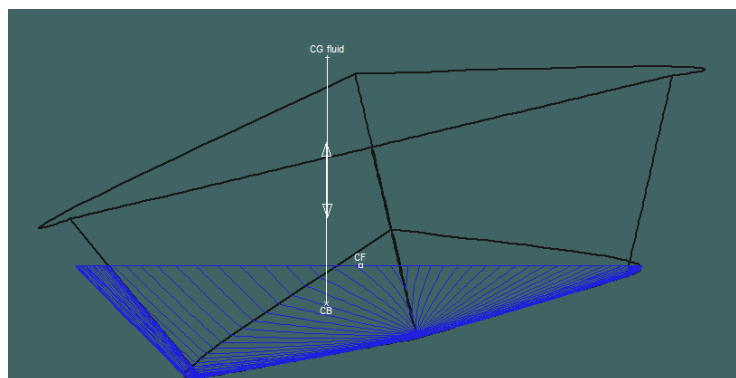


Figura 25 – Ilustración de la sección del barco para el primer criterio a partir del software

9.2.1.2 Segundo criterio de estabilidad para máxima carga

En este segundo criterio de estabilidad para el caso de máxima carga se supondrá que 100 Kg de la carga total (250 Kg) se desplaza 0,5 m hacia babor.

Como se ha comentado en el apartado anterior, para que el criterio de estabilidad sea válido, el valor de GZ deberá estar dentro de la gráfica de la curva GZ para el caso de máxima carga. Para este caso el valor es:

$$GZ = 0,03 \text{ m}$$

DATOS DE LA CURVA GZ:

- Angulo de escora: 15 °
- Angulo de escora máximo: 28,9 °

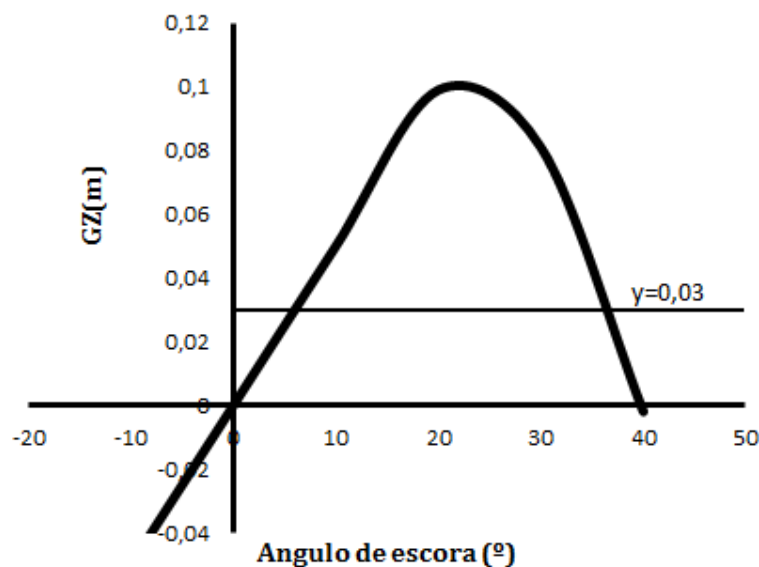


Gráfico 10 - GZ vs Ángulo de escora para el segundo criterio

Se puede observar, que para este caso el valor GZ está por debajo de la curva y eso nos dice que la embarcación es estable. Se puede afirmar que el valor de la recta y, para este caso, es válido, ya que el valor de y es menor al del caso anterior y eso indica una gran estabilidad del barco para este caso.

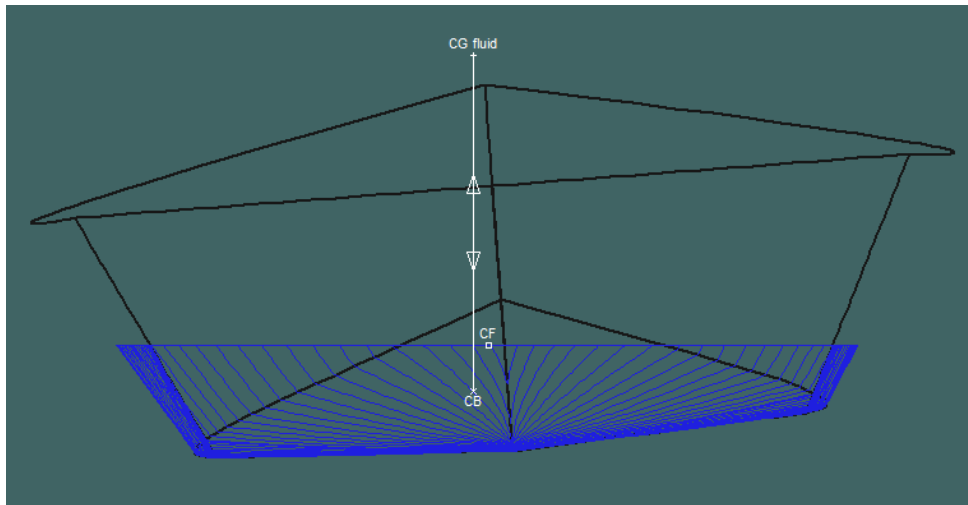


Figura 26 – Ilustración de la sección del barco para el segundo criterio a partir del *software*

9.2.2 Caso mínima carga, sin pasaje

Para este caso, se ha realizado los mismos pasos que en el apartado anterior. Los valores obtenidos en este apartado mediante el *software*, son los siguientes:

DATOS HIDROSTÁTICOS:

- Eslora en flotación: 9,262 m
- Manga en flotación: 1,517 m
- Asiento (trim): 0,04º
- Desplazamiento: 1140,5 kg
- BMt: 2,514 m

Se puede observar que el BMT ha aumentado (de 1 m a 2.514 m). Al principio puede parecer extraño que el valor cambie mucho, pero tenemos que tener en cuenta que el radio metacéntrico transversal se calcula con el momento de inercia lateral y el volumen sumergido del buque tal como se describe en la siguiente fórmula:

$$BM_t = \frac{I_t}{V_{uw}} \quad (11)$$

BM_t	Radio metacéntrico transversal
I_t	Momento de inercia del plano de flotación sobre el eje longitudinal
V_{uw}	Volumen por debajo de la línea de flotación

Con esta fórmula se puede entender porque B_{tm} de la carga mínima es más grande que el B_{tm} de la máxima carga. Como en el segundo caso, el peso de la embarcación disminuye drásticamente, el volumen de la embarcación también (denominador) y, por lo tanto, el B_{tm} aumenta, ya que, el momento de inercia (numerador) se mantiene casi constante, a causa de la pequeña variación de los costados del barco en el sentido del puntal y provocando que el plano de flotación varíe muy poco, casi constante.

DATOS DE LA CURVA GZ:

- Angulo de escora para el momento adrizante: 47°
- Distancia GZ máximo: 0,21 m
- Angulo GZ máximo: 15 °

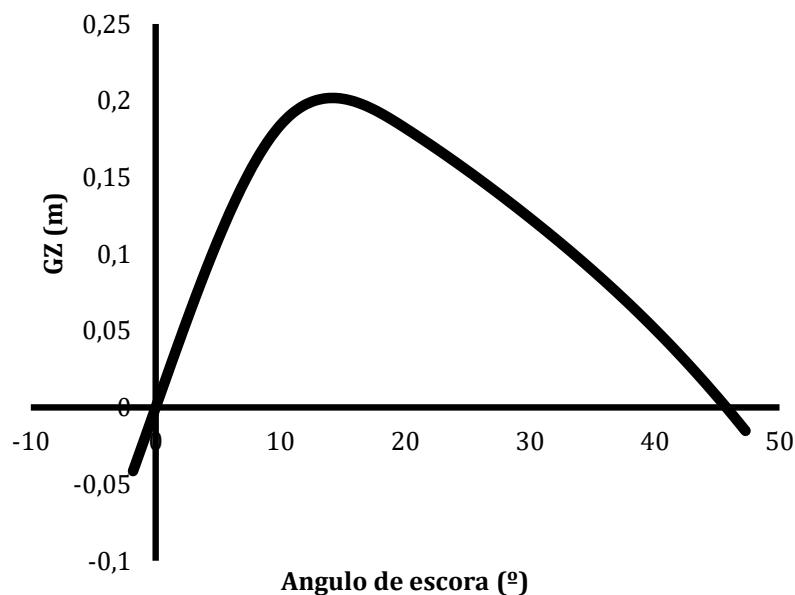


Gráfico 11 – GZ vs. Ángulo de escora para el caso de mínima carga

Se puede asumir, que con estos resultados obtenidos y validados para que el buque sea seguro y estable, se dibujarán los planos referentes a la embarcación para su futura construcción.

9.2.2.1. Tercer criterio de estabilidad para mínima carga

En este tercer criterio de estabilidad para el caso de mínima carga se supondrá que 200 Kg de la carga total (500 Kg) se desplaza 0,5 m hacia babor. En este criterio, también se desplazará el tripulante que controla la carga en la misma dirección y la misma distancia, se supone que para cogerla y llevarla a su punto de partida.

Como se ha comentado en el apartado anterior, para que el criterio de estabilidad sea válido, el valor de GZ deberá estar dentro de la gráfica de la curva GZ para el caso de mínima carga. Para este caso el valor es:

$$GZ = 0,12 \text{ m}$$

DATOS DE LA CURVA GZ:

- Angulo de escora: 6 °
- Angulo de escora máximo: 30,8 °

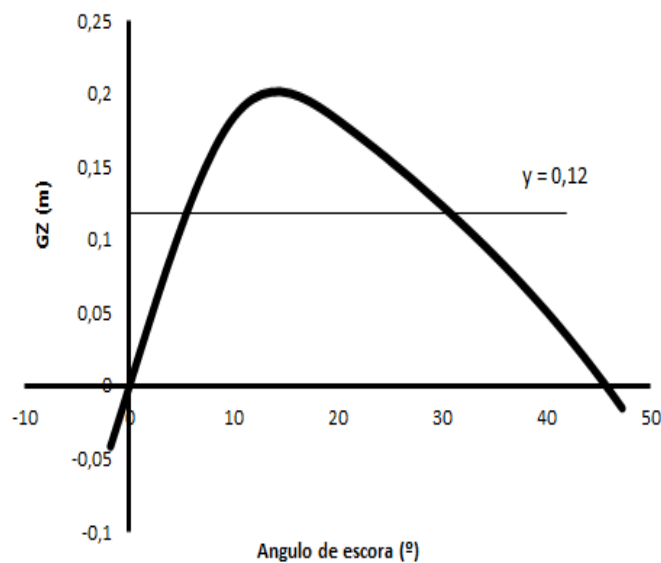


Gráfico 12 - GZ vs Ángulo de escora para el tercer criterio

Se puede observar que, para este y último caso, el valor GZ está por debajo de la curva y eso nos indica que la embarcación es estable. Se puede afirmar que el valor de la recta, para este caso, es válido por lo comentado en el anterior caso.

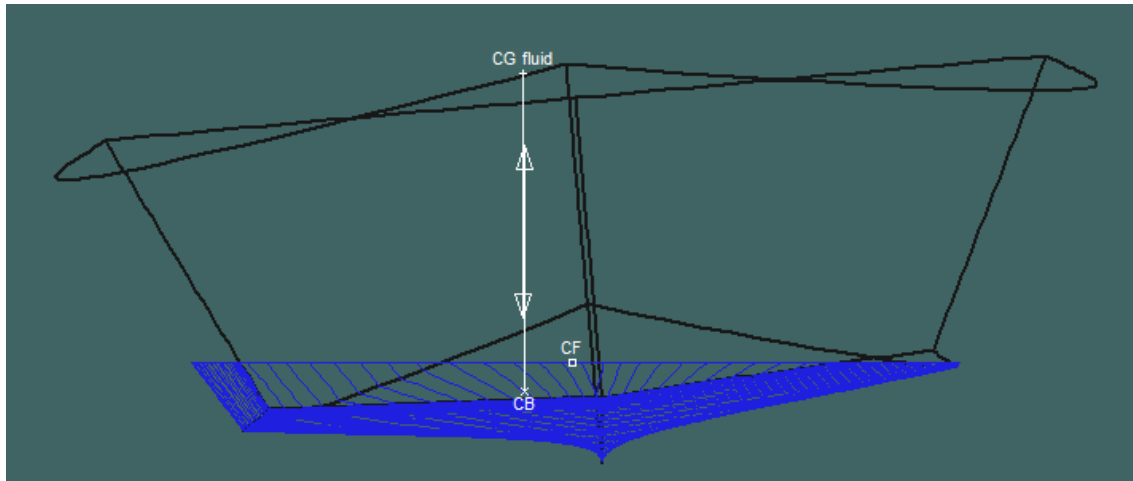


Figura 27 – Ilustración de la sección del barco para el tercer criterio a partir del *software*

10. DISEÑO FINAL

Para finalizar el proyecto conceptual, se realizan dos planos a escala, en los que reflejan la forma real del barco y la disposición de carga y pasaje del mismo. Con estos planos, uno de formas y el otro de disposición, se tendrá una idea más clara sobre la forma y dimensiones del barco final.

A continuación se mencionan los datos técnicos más relevantes de la embarcación. Estos datos pueden variar si se realiza una segunda vuelta a la espiral de diseño, pero se aproximan a los que se obtendrán finalmente para la construcción del buque.

Datos técnicos	
Eslora Total	10 m
Eslora en Flotación	9,49 m
Manga Total	2,10 m
Manga en Flotación	1,71 m
Capacidad de pasaje	23 Persones
Calado del cuerpo de cano	0,242 m
Desplazamiento	2465 kg
Superficie mojada	15,04 m ²
Superficie plano de flotación	12,78 m ²
Consumo Motor	4 l/h

Tabla 12 – Datos definitivos de la embarcación

Una vez realizado el modelo 3d definitivo se elaboran los planos mencionados anteriormente mediante un software para una mejor visualización del proyecto conceptual del barco. A continuación se muestran unas figuras en 3d de la embarcación:

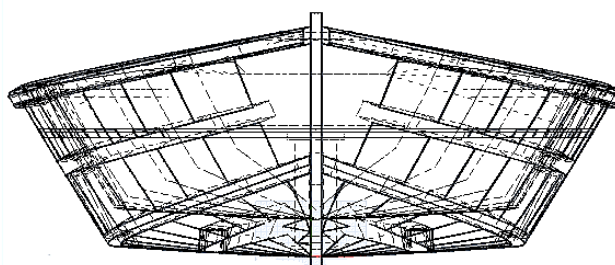
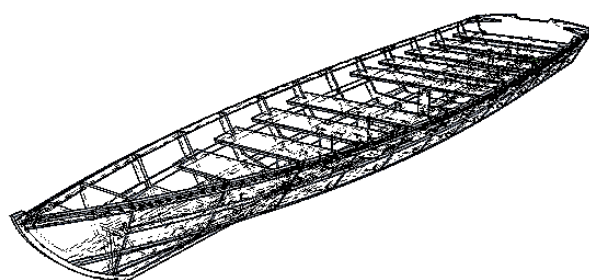
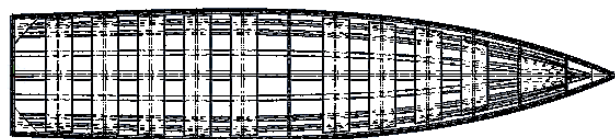


Figura 28 – Imagen alámbrica del modelo 3d de la embarcación



Figura 29 – Renderizado del modelo 3d de la embarcación

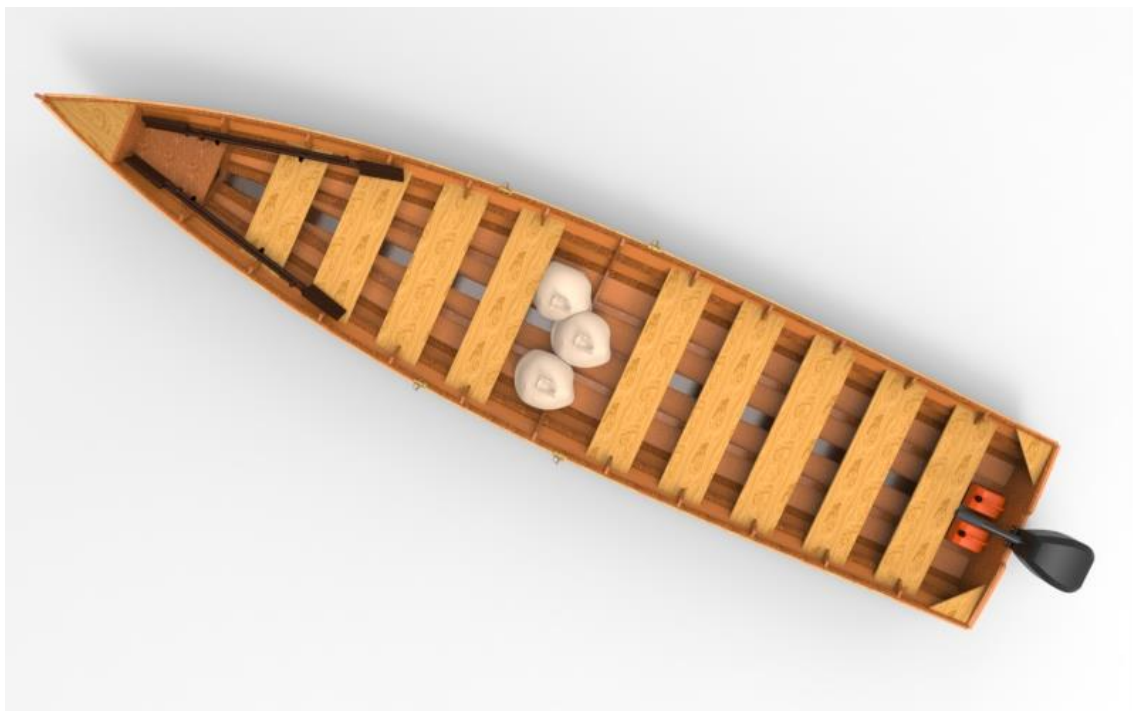


Figura 30– Renderizado del modelo 3d de la embarcación

Finalmente, para tener una idea más precisa del barco se realizara una maqueta a escala 1:15. Con el objetivo de que todos los estudios y cálculos realizados durante el proyecto y los planos obtenidos del modelo 3d, sean coherentes. Ya que a la hora de la fabricación de la embarcación se seguirá un procedimiento similar al obtenido con la maqueta.



Figura 31– Imagen en perspectiva de la maqueta del barco



Figura 32 – Imágenes de la maqueta de diferentes vistas

11. RENDERS DEL MODELO 3D

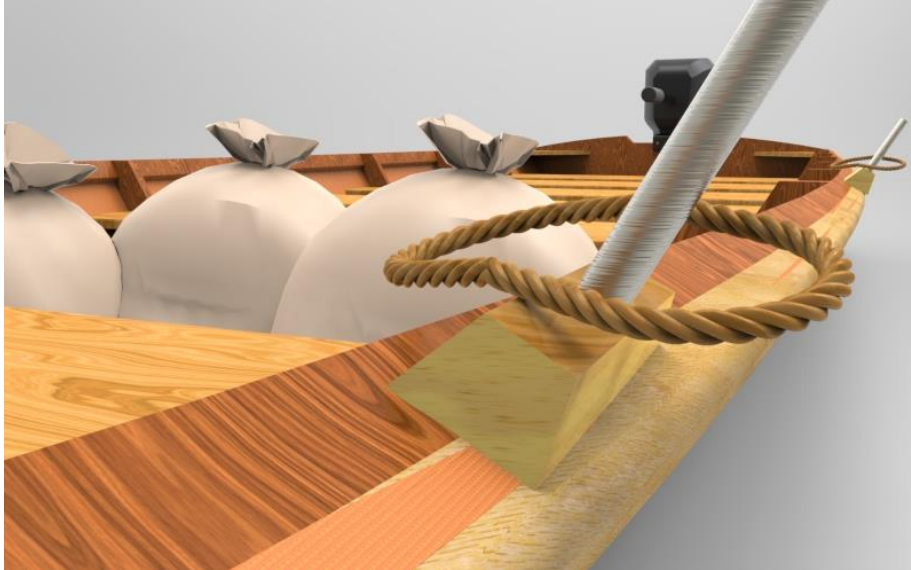


Figura 33 – Imagen de detalle del modelo 3d del soporte para la colocación de los remos



Figura 34 – Imagen de detalle del modelo 3d de los depósitos de combustible



Figura 35– Imagen del renderizado de la embarcación

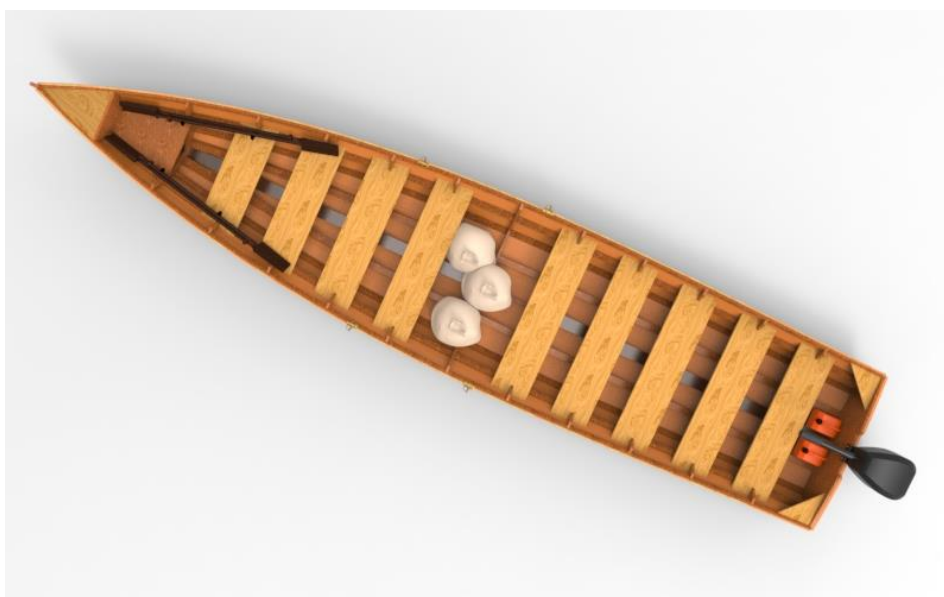


Figura 36 – Imagen del renderizado de la parte interna de la embarcación

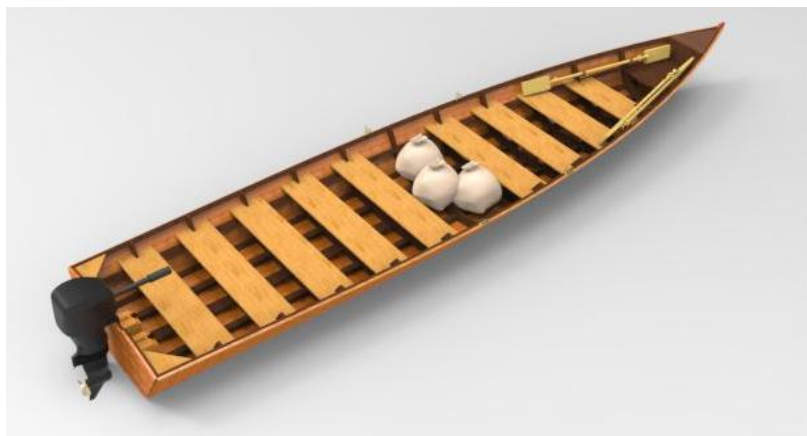


Figura 37 – Imagen del renderizado del modelo 3d



Figura 38 – Imagen de detalle del renderizado del motor de la embarcación

12. CONCLUSIONES

Observando el resultado y comparándolo con el que se pretendía desde un inicio se puede decir que se ha llegado al objetivo principal: diseñar un barco de formas simples para facilitar la construcción, asequible económicamente y adecuado a unas necesidades de velocidad, pasaje, navegabilidad y seguridad.

Objetivos:

- Construcción simple y en madera
- Capacidad de entre 15-30 personas
- Propulsión principal dada por un motor fueraborda con un consumo relativamente bajo y con velocidades máximas de hasta 10 Kn.
- Estable y segura para el transporte de 250 Kg de carga y 23 personas.

Con el diseño final se puede afirmar que se cumple con los requisitos básicos y se cumple con la seguridad del pasajero gracias al seguimiento de la normativa. Se asegura una construcción relativamente simple con madera de la zona y con capacidad de la embarcación de hasta un máximo de 23 personas con una carga de hasta 250 Kg para una velocidad de 10 Kn.

También se tiene que tener en cuenta que esto es un proyecto conceptual y que existe una segunda fase donde las formas del barco pueden variar un poco y donde el proceso constructivo está más detallado para la futura construcción del barco. Estos pequeños cambios que se han realizado cuentan como una segunda vuelta en la espiral de diseño.

Dicho esto y, para finalizar, el barco que se construirá en Azizakpe está dentro de los requisitos que pedían desde la isla y desde la ONG.

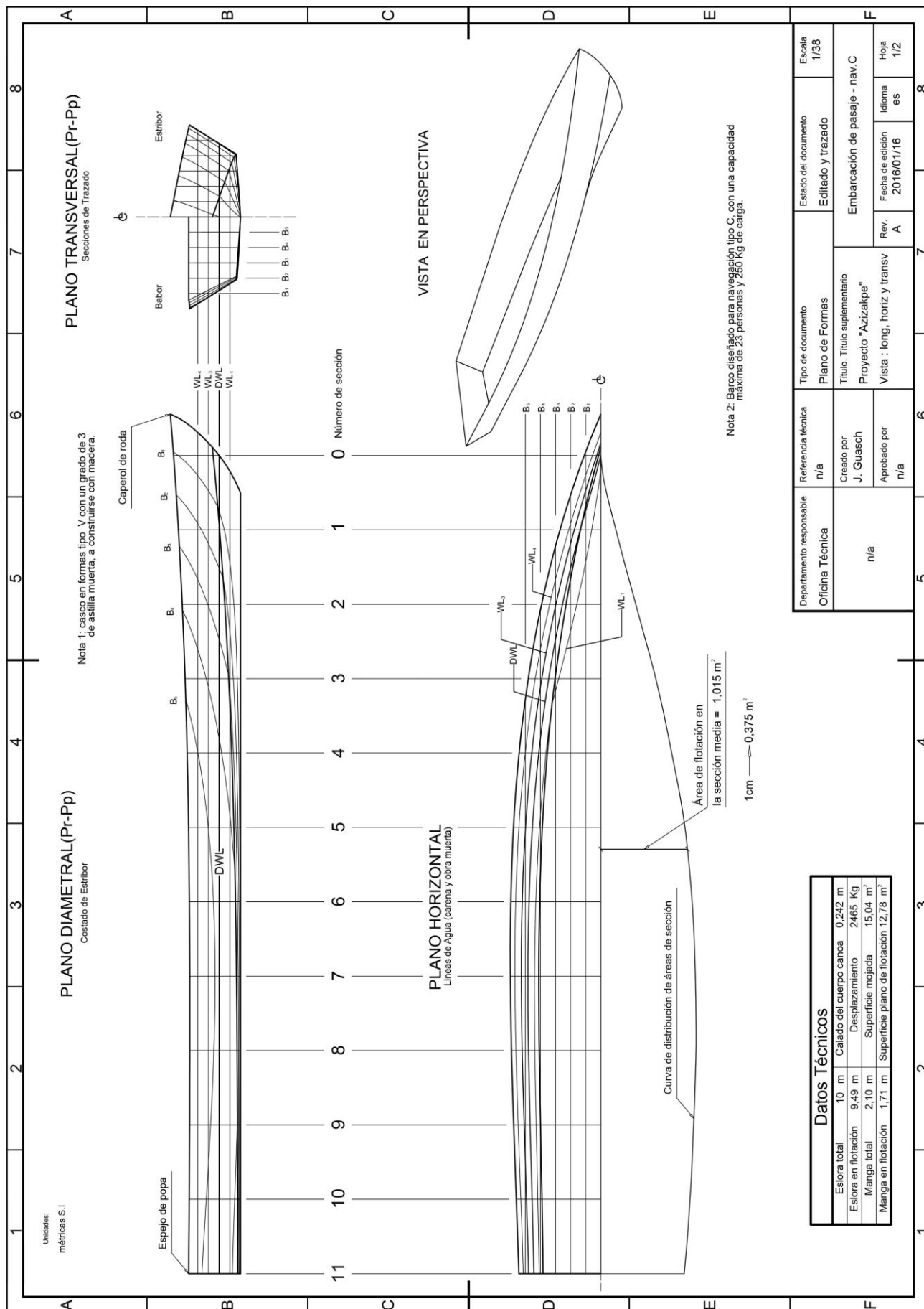
13. BIBLIOGRAFÍA

Durante el proceso de elaboración de este proyecto final de Grado se ha consultado lo siguiente.

- AENOR (Comité técnico AEN/CTN 27 Industria Marítima). *UNE-EN ISO 12215-5:2008; Pequeñas embarcaciones; Construcción de cascos y escantillones; Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón*. Madrid: Octubre 2008.
- AENOR (Comité técnico AEN/CTN 27 Industria Marítima). *UNE-EN ISO 12217-1:2013; Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m*. Madrid: Octubre 2013.
- Cape Fear Community College (cfccnc). *CFCC Wooden Boat Building Program* [online]. Wilmington, North Carolina: CFCC, Marzo 2013. [Consultas: Marzo y Abril 2016] Disponible en : <<https://www.youtube.com/watch?v=OaiZvdiEmFU>>.
- Oliver Aguilar, Albert. *Diseño y construcción de una embarcación planeadora de PVC*. José Manuel Robledano Esteban. Final Project, UPC, Facultat de Nàutica de Barcelona, 2015.
- Verdes Jove, Carlos David. *Manual de teoría del buque*. 1^{ra} edición. La Coruña, Spain: Editorial Cartamar, December 2013. ISBN: 978-84-941746-0-5.
- Yamaha. *Motores Fueraborda* [online]. [Consultas: Abril2016] Disponible en : <<http://www.yamaha-motor.eu/es/products/marine-engines/index.aspx>>.
- Aplicación web para el cálculo del rendimiento del motor [online]. [Consultas: Abril2016] Disponible en : <https://www.vicprop.com/planing_size.php?action=calculate>
- François Vivier. *Construcción de Madera: Las Técnicas Modernas para la construcción de pequeñas embarcaciones de vela y remo o de pequeños veleros de época*. 2^a edición. Editorial Llagut, Octubre 2001. ISBN: 978-84-932385-0-6
- FAO. *Fishing Boats of the World: 1*. 5^a edición. Rome, Italy: Jan-Olof Traung, Dawson and Goodall Limited, 1978. ISBN: 0-85238-073-9.
- FAO. *Fishing Boats of the World: 2*. Rome, Italy: Jan-Olof Traung, Dawson and Goodall Limited, 1960.

14. Anexo I: PLANO DE FORMAS

En la siguiente hoja hay el plano de formas de la embarcación con sus detalles correspondientes. NOTA: *La escala de este plano corresponde a la medida de papel DIN A3.*

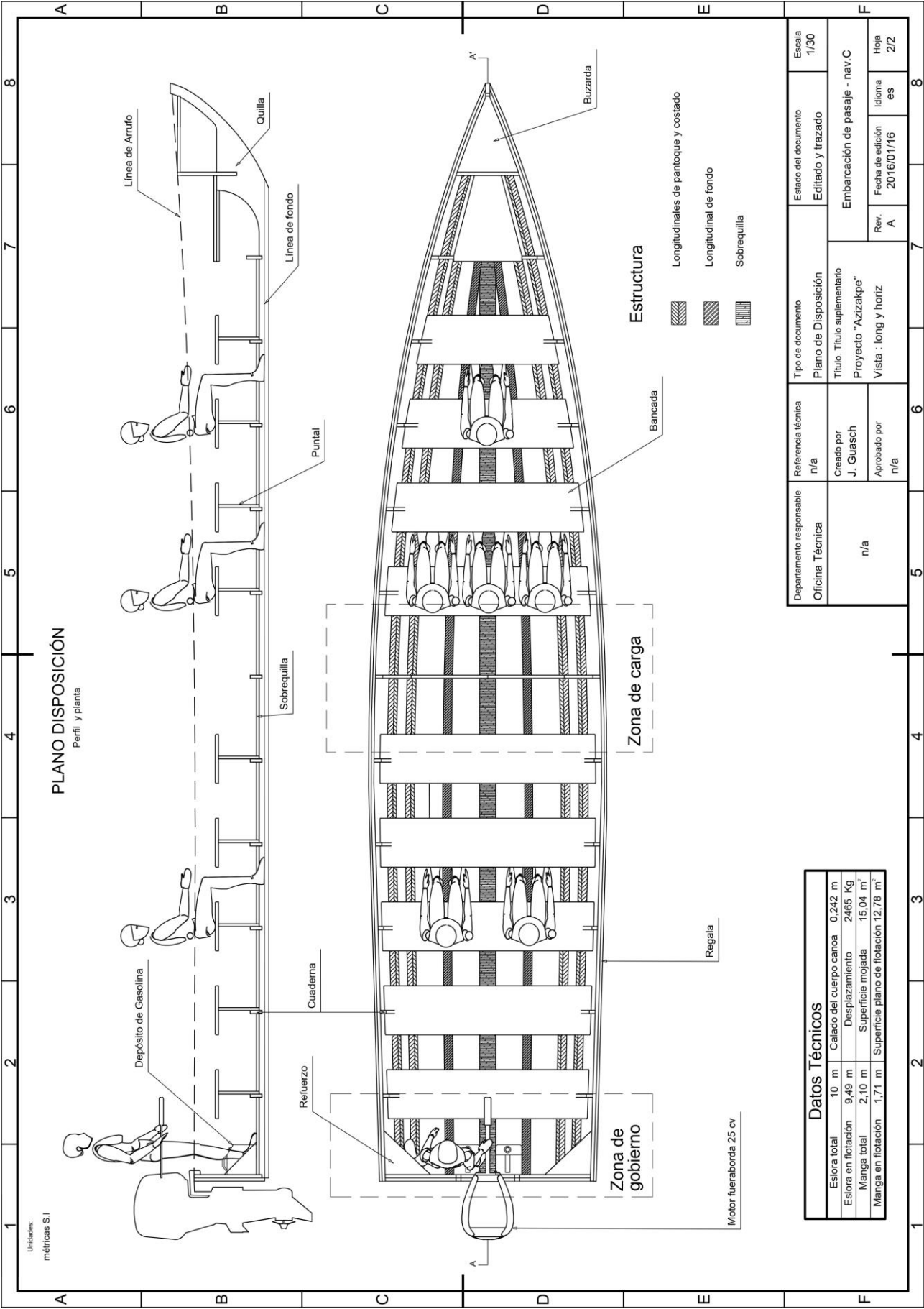


Datos Técnicos			
Esloca total	10 m	Calado del cuerpo canoa	0,242 m
Esloca en flotación	9,49 m	Desplazamiento	2465 Kg
Manga total	2,10 m	Superficie mojada	15,04 m ²
Manga en flotación	1,71 m	Superficie plano de flotación	12,78 m ²

Departamento responsable		Referencia técnica	Tipo de documento	Estado del documento	Escala
Oficina Técnica		n/a	Plano de Formas	Editado y trazado	1/38
n/a		Creado por J. Guasch	Embarcación de pasaje - nav.C		
		Aprobado por n/a	Título: Título suplementario Proyecto "Azizakpe"		
			Vista: long, horiz y transv		
		Rev.	Fecha de edición	Idioma	Hoja
		A	2016/01/16	es	1/2

15. Anexo II: PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL

En la siguiente hoja hay un plano de la disposición general de la embarcación con los detalles correspondientes. NOTA: *La escala de este plano corresponde a la medida de papel DIN A3.*



16. Anexo III: IMÁGENES REFERENTES A LA BASE DE DATOS

En este anexo se pueden encontrar las imágenes de los barcos utilizado para la base de datos del proyecto.

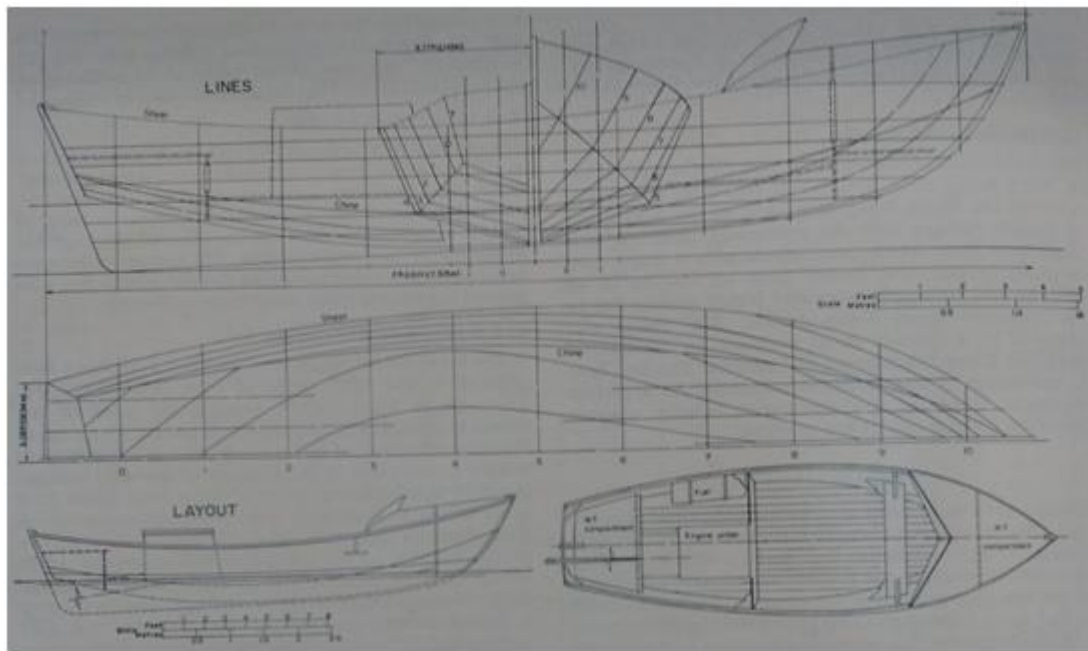


Figura 39 – Imagen del Barco 1 referente a la base de datos (tabla 2)- Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)



Figura 40 – Imagen del Barco 2 referente a la base de datos (tabla 2)- Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

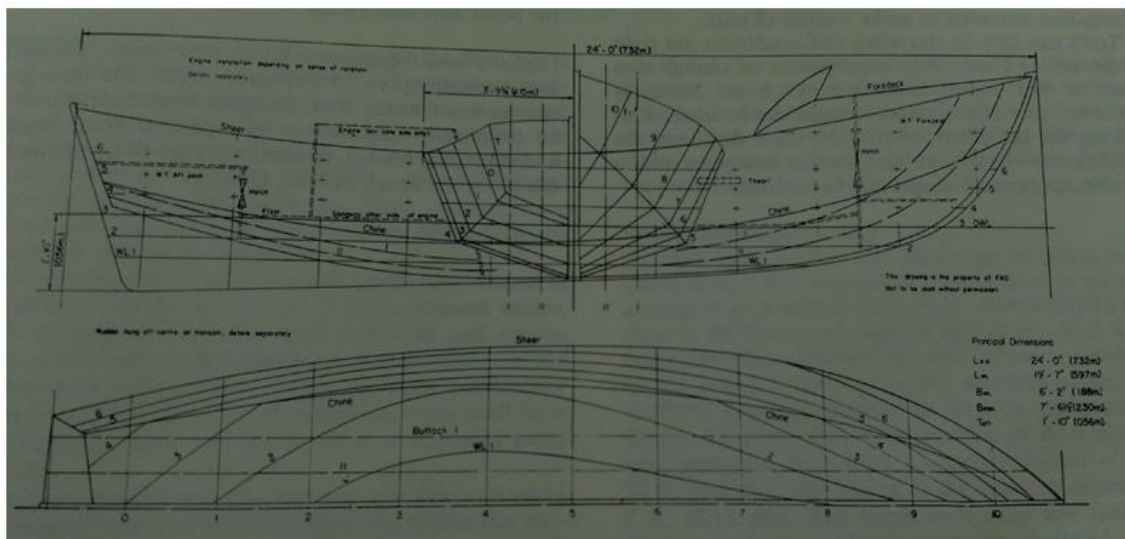


Figura 41 – Imagen del Barco 3 referente a la base de datos (tabla 2)- Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

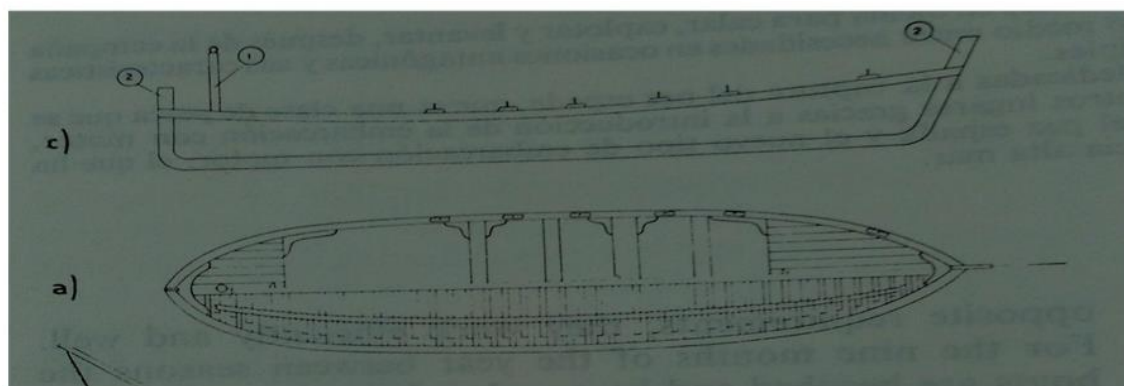


Figura 42 - Imagen del Barco 4 referente a la base de datos (tabla 2) -Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

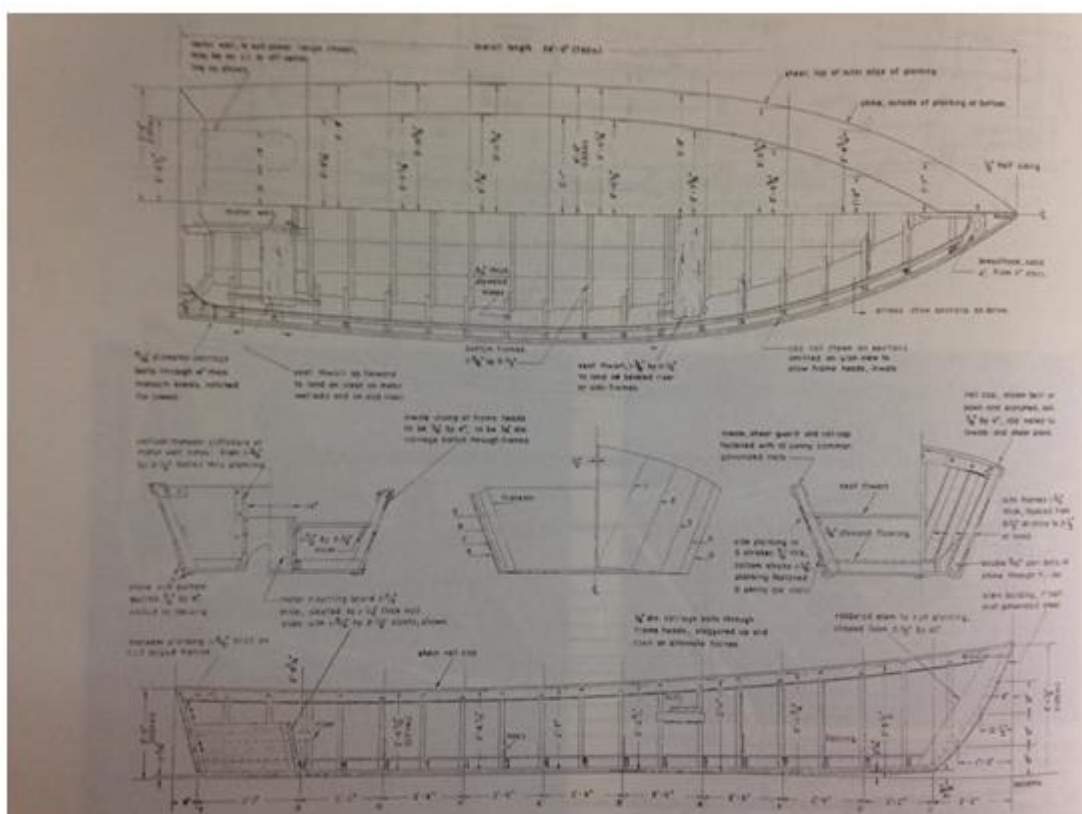


Figura 43 - Imagen del Barco 5 referente a la base de datos (tabla 2) -Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

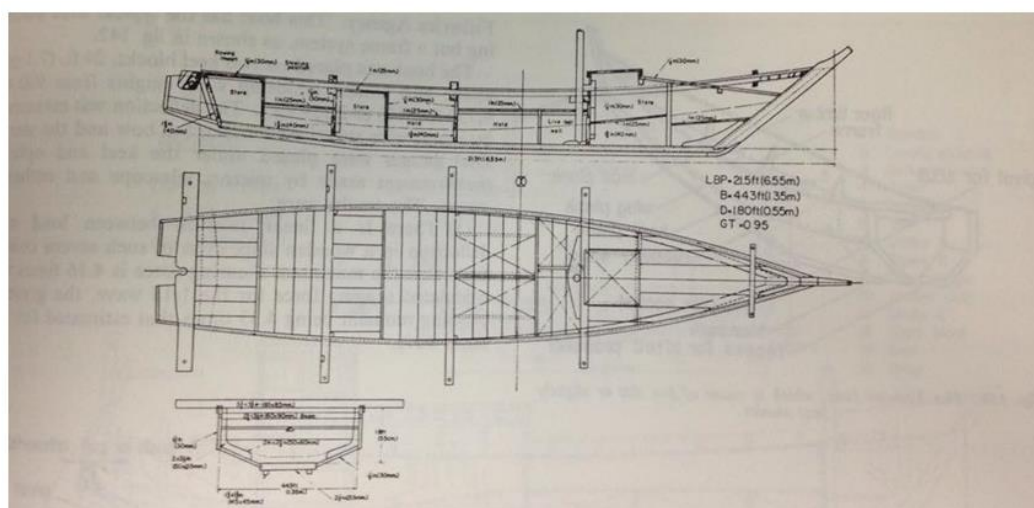


Figura 44 - Imagen del Barco 6 referente a la base de datos (tabla 2) -Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

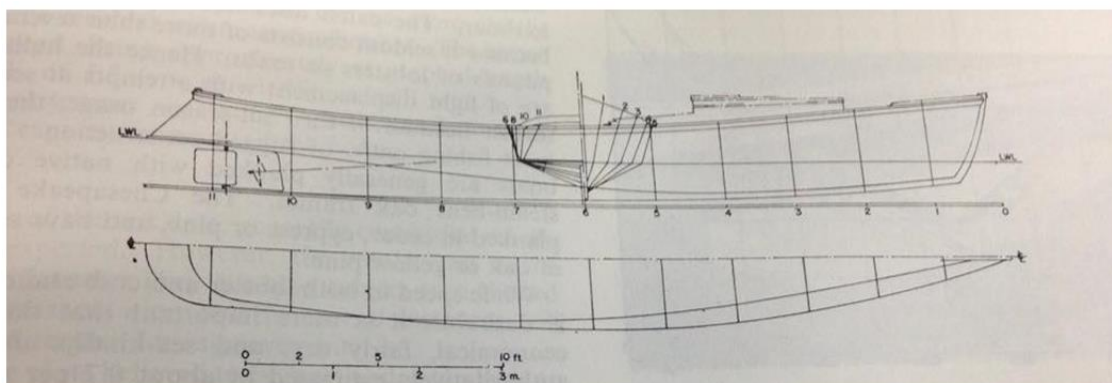


Figura 45 - Imagen del Barco 7 referente a la base de datos (tabla 2) -Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)

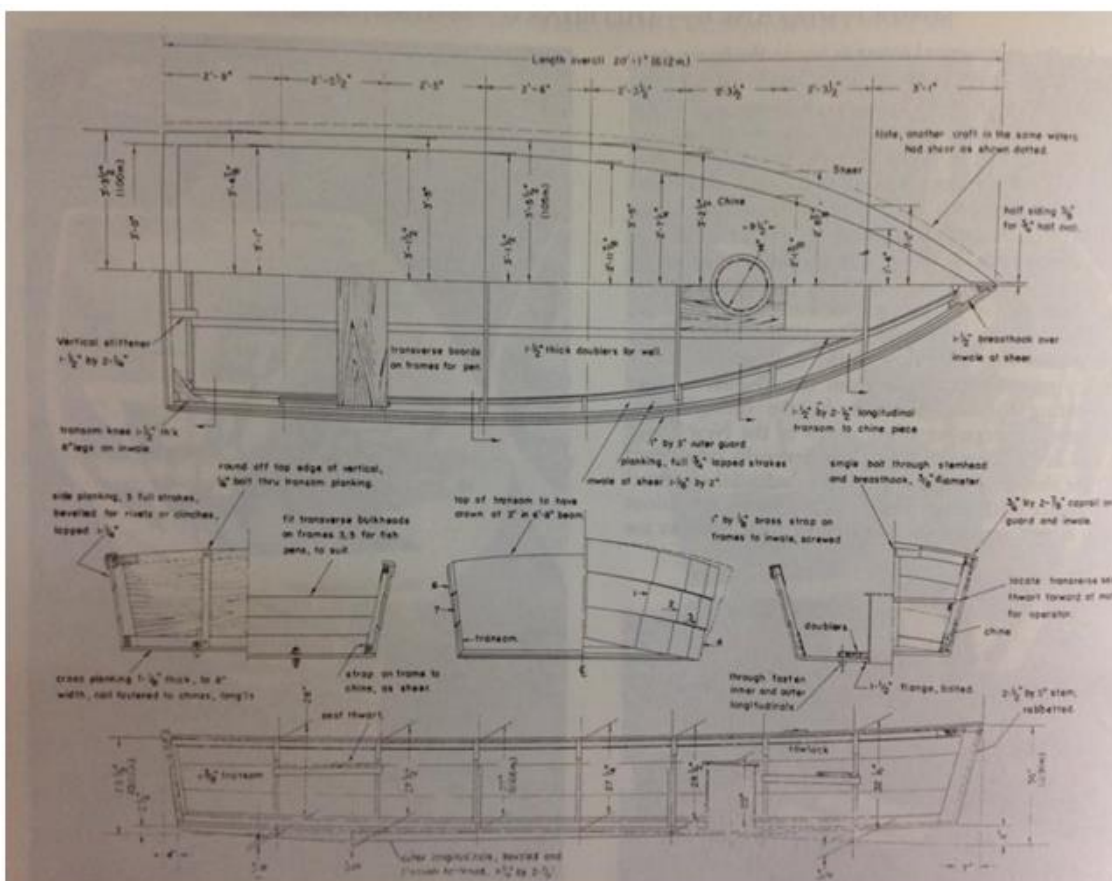


Figura 46 - Imagen del Barco 8 referente a la base de datos (tabla 2)-Fuente (Libro: *Fishing Boats of the World*)



Figura 47 - Imagen del Barco 9 referente a la base de datos (tabla 2)-Fuente (Xavier Martínez)



Figura 48 - Imagen del Barco 10 referente a la base de datos (tabla 2)- Fuente (Xavier Martínez)

17. Anexo IV: PRESUPUESTO DE LA EMBARCACIÓN

A continuación se muestra una tabla del presupuesto necesario para la construcción del barco. La madera necesaria se ha obtenido mediante el modelo 3d calculando la superficie del casco y de la estructura del barco. Seguidamente, el material necesario se ha calculado mediante la experiencia del carpintero especialista en construcción de barcos en madera, Carles Jorba. Los otros elementos se han obtenido mediante tarifas reales de la isla, proporcionados a través del director de la ONG, Roberto Osei.

PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN DE LA BARCA PARA AZIZAKPE

CONCEPTO	COSTE
Madera para la barca (40 m2/430 pies2). 28 tablones de 16x1 pies (ODUM)	750 €
Material necesario para la construcción de la barca (clavos, pintura, calafateado, herramientas, etc).	1.020 €
Motor fuera borda entre 25 / 30 HP, comprado en Ghana en el mercado de segunda mano (el coste es orientativo, pudiendo oscilar ligeramente en más o menos)	1.200 €
Transporte de material y/o personas entre Accra, Ada Foah y la isla de Azizakpe	250 €
Gasolina necesaria para el funcionamiento de la barca durante un mes (contabilizamos 6 viajes/día con un gasto aproximado de 22 €/día).	700 €
TOTAL	3.920 €

* Algunos de estos precios están calculados según las tarifas vigentes en la actualidad. Pueden sufrir una ligera variación, dependiendo de los precios vigentes en el momento de la compra.

18. Anexo IV: FICHA TÉCNICA DE LA MADERA IROKO



Iroko

Identification

Designation

Chlorophora excelsa et regia (L)

General Properties

Density	590	-	730	kg/m ³
Price	* 1.63	-	2.18	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Cellulose/Hemicellulose/Lignin/12%H₂O

Base	Other
Wood type	Tropical

Composition detail (polymers and natural materials)

Wood	100	%
------	-----	---

Mechanical properties

Young's modulus	* 10	-	12.2	GPa
Flexural modulus	9.1	-	11.1	GPa
Shear modulus	* 0.74	-	0.9	GPa
Bulk modulus	* 0.88	-	0.98	GPa
Poisson's ratio	* 0.35	-	0.4	
Shape factor	5.1			
Yield strength (elastic limit)	* 47.6	-	58.2	MPa
Tensile strength	* 71.5	-	87.4	MPa
Compressive strength	47.1	-	57.6	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	76.9	-	94	MPa
Shear strength	11.2	-	13.7	MPa
Elongation	* 1.93	-	2.36	% strain
Hardness - Vickers	* 5.85	-	7.15	HV
Hardness - Brinell	* 50	-	61.1	MPa
Hardness - Janka	* 5.85	-	7.15	kN
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 23.1	-	28.2	MPa
Fracture toughness	* 5.3	-	6.4	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0075	-	0.0092	
Differential shrinkage (radial)	0.13	-	0.19	%
Differential shrinkage (tangential)	0.25	-	0.28	%
Radial shrinkage (green to oven-dry)	2.5	-	3.1	%
Tangential shrinkage (green to oven-dry)	3.4	-	4.2	%
Volumetric shrinkage (green to oven-dry)	* 11	-	18	%
Work to maximum strength	55.8	-	68.3	kJ/m ³

Thermal properties

Glass temperature	77	-	102	°C
Maximum service temperature	120	-	140	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-23	°C
Thermal conductivity	* 0.29	-	0.35	W/m.°C
Specific heat capacity	1.66e3	-	1.71e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 2	-	11	μstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	* 6e13	-	2e14	μohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	* 6.54	-	8	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.076	-	0.093	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 0.4	-	0.6	MV/m

Values marked * are estimates.

Figura 49 – Imagen de la ficha técnica de la madera IROKO - Fuente (Software CES EDUPACK)

19. Anexo V: INFORME REAL SOBRE LA REGIÓN DE AZIZAKPE

En la siguiente hoja está el informe real correspondiente a la región de la isla de Azizakpe redactado por el profesor Xavier Martínez de Osés.

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR BOAT BUILDING

Visit to local carpenters.

Visit to Highway Authorities, Mr. Paul.

Visit to different shops in the Ada Foah market.

Interviews with fishermen and boat owners.

Availability of wooden naval construction tools

There has been found some small warehouses where basic tools can be found like hammers, or "sierras". However once having talking with a local carpenter, the specific tools should be found in Accra.

Basic tools to be used are clamps, ruler, hammer, "sierras", "cepillo". (Some pictures can be seen).

We think that it is more economic to use the tools that the carpenters in the island are going to need instead of buying them. This point answers also the availability of spaces in the island for doing the building.

Availability of metal works like nails and others.

There have been found small warehouses in Ada Foah, where nails (trenchies) have been found. However we consider that we should be assessed by the carpenters of the island on what to best found this pieces.

Availability of woods for the construction.

Once having talked with the Carpenter Wisdom in ... he has recommended the wood called ODUM for the building, even being used also UMBLE (this second of less quality than the first one).

This opinion is coincident with the carpenters in the island.

The Price of odum is for a piece of 1x16 feet, of 110 CGH, whilst the same size of the umble quality costs 65 CGH.

For building an small boat for 10 passenger, it will be needed 8 pieces of the aforementioned size of the selected quality wood. For a boat with a capacity of 15 passengers (length of 22ft) there is needed 11 pieces.

This price does not consider the metal pieces and the working time.

The time required for a boat construction is considered in 2 weeks.

Availability of caulker or tan and covering materials as resins, gelcoats, fiber and others.

No interviewed carpenter is using caulk for the wood joints.

However in shore carpentry it is used it and also white glue. After the interview with Mr. Paul from Highway authorities, he recommended to use the white glue. The covering materials are not found in the area of Ada Foah. However in Accra it can be possible to get them, but this option has not been still considered. The main reason is that we hope to use the local materials being dependent on their availability in the area. Another point to consider is to bring some material from Europe, to get water tightness in the boat hull.

Availability of electrical power

If finally the dock used is placed in island, no electrical power can be found. In case of use the dock of Highway Authorities, the electrical power can be obtained but after an authorization and the problem would be the availability of the building tools.

Availability of outboard engines

Some fishermen and boat owners consulted at the Ada Foah embarking pier has been interviewed.

The maximum used power is up to 40 H.P., but the recommended one in between the 25-30 H.P. range, for the boat of the intended size. The consumption of the smaller engine is logically lower. The prices of new engines could vary from 1000 € for new ones to 400 € for a used one of a Yanmar brand. In Ada Foah only is possible to get a used one but in Accra or brought from Europe a new can be got.

Availability of mechanical spares

All the spares should be got in Accra. Some common and standard pieces could be found in Ada Foah or Tema, markets.

Availability of trained people in the area

There have been identifies one carpenter in the island and another one in Ada Foah, both building boats. People in overall terms have some knowledge of working the wood.

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Visit to VRA responsible in Ada Foah. Mr. Doughton

Visit to Meteorological office in Ada Foah

Visit to Dredging International in Ada Foah, Mr. André Olivier

Visit to Highways Authorities in Ada Foah, Mr. Paul

Presence of sea /river currents (Dredging international)

There are studies made in the sea side of the mouth by dredging International, but not in the river.

It is possible to see the information on the tides in <http://tides.mobilegraphics>.

Or the British Admiralty tables also can be consulted.

Wave average height and maximum peak (Dredging international)

Waves in the river use to have around 0.2 m of height, that is a level 1 in Douglas scale.

This highest height is depending on the existing blowing wind. Because of the close position of the river mouth, the swell can enter from sea reaching up to 1.5 m and being sensitive up to 1.5 km upstream.

The height of the waves in the river is mainly produced by wind and this is because it depends on it. So being higher during stormy season that is during april to May-June.

It has been identified that the offshore wave climate is formed by swell waves from southern directions (SW-SSE with different components and frequency peaks of 10s and up to 20 s.

Existence of high and low tides (Volta River Authority)

There are two high tides and two low tides in the river per day. There are published the tide tables by the Ghana Port Authorities but the closest point measured is Takorade.

The time delay of the tide in Ada Foah is negligible and the difference in height is 0.06 m in high tide and 0.03 m in Low tide.

It is possible to see the information on the tides in <http://tides.mobilegraphics>.

Or the British Admiralty tables also can be consulted.

Sea level differences can be seen in those tables.

Intensity of average wind (Meteorological Agency of Ghana)

Meteorological office in Ada Foah has been visited in order to get some information on this topic.

This data should be paid and required to central office in Accra.

But the general direction of wind is SW and affected in the coastal area by the brises regime. It is the direction can vary from E to W and then from W to E, but the synoptic pattern is SW. During December and January Harmattan season.

During stormy days the intensity can reach 25 kn. In other season the average wind is of 8 knots with peaks of 10 knots.

Topology of surrounding sides (sandy, rocky, wetlands, ...) (Volta River Authority)

Nautical charts in the area of navigation (Volta River Authority)

It is supposed that British Admiralty has published sufficiently detailed nautical charts in the area of Volta river mouth. This chart will be acquired in Barcelona.

Presence of floating or suspended sediments in the waters

NO certainty is given to this fact but it is confirmed that the river brings a lot of sediments mainly after flooding or heavy rain episodes.

Availability of piers (Dredging International)

Dredging International is using one pier provisionally that was asked to be used in the future for the boat. No information of its height and details was given. No confirmation also was done on the possibility to use it. However the measurements of the structure has been taken. At 11:55 UTC the depth was 2.32 meters, that means that at Lowtide

The sizes of the jetty are 23.4 meters from the beach and a platform in its head of 3.2 meters. This means that in case of berth the boat in the jetty side, it is considered to have enough longitude to berth it alongside. But the main limitation in this case will be the depth as it varies from the outer part of the jetty with more than 1.5 meters to 0.5. These last figures will depend of course of the tide level.

Raining regimes and average pluviometry

Some reports have been reviewed from Meteorological Agency of Ghana. Those reports provide some information on accumulated rain for the different region capitals.

The capitals closest to the ending part of the Volta river are Ho and Akuse; that are placed in between the Akosombo Dam and the last one close to the coast and then to the Volta mouth.

The average obtained is the following. Akuse in a period from May to December in 2014 an accumulated quantity of $> 1000 \text{ l/m}^2$ and an average from 2011 of 850 l/m^2 .

In Ho in the same period an accumulated quantity of $> 1200 \text{ l/m}^2$ and an average from 2011 roughly 1000 l/m^2 . The months with a higher rain rate were May and June in most of the cases with figures of up to 221 l/m^2 in June in a stormy shape in Accra.

Degree of salinity and density (Volta River Authority)

In May 2015 some measures were taken in different points of the Volta river. This information was provided to the project being the following.

At high tide the values were 25 ppt of salinity in western and dredged channel and 20 ppt in Eastern bank. At 1 metre of depth, was 28 ppt in the Western bank and dredged channel and 20 ppt in eastern channel.

At Kedzi (3 km upstream), the figures were 10 ppt in the Western bank and dredged channel and 5 ppt in Eastern bank. At 1 metre of depth figures were 25 ppt and 20 ppt.

At Paradise Hotel (4 km upstream), the values were 10 ppt of salinity in western bank and Dredged channel and 5 ppt in Eastern channel. At 1 metre of depth, figures were 10 ppt and 5 ppt.

At Highways (5 km upstream), the values were 3 ppt of salinity at Western bank and dredged channel and 0 ppt in Eastern channel. At 1 metre of depth, figures were 20 ppt and 10 ppt.

Existence of buoys and signals in the river (Volta River Authority)

There are no buoys or signalled channels in the river, even that there is a channel dredged up to 5 meters for commercial purposes.

Approximate density of marine traffic in the area (Volta River Authority)

The traffic is mainly carried out by small boats connecting the islands, fishing or as touristic entertainments.

Average temperatures

Some information of temperatures has been obtained in Accra. At 2 hours of Ada Foah, close to the Azizakpe island. Minimum temperature was reached in Augst being 22,2°C and maximum in February being 32,7°C.

Safety topics

Regulations

In virtue of the Ghana Maritime Authority Ac, (2002 (Art. 630) and the Ghana Shipping Act, 2003 (Art. 645); Ghana Maritime Authority takes the management of safety on the Lake Volta.

From this point it is cretaed the **Inland Waterways Transportation Division**, with three specific subdivisions: Surveillance & Patrols, Inspection & Surveys and Navigational Services.

IWD is inspecting ttransport boats. Marking them with maximum loadline marks and maximum number of passengers and cargo capacity.

Additionally draft new reguations for inland water transportation have been written based on the 2002 IMO Model "Regulactions for inland waterways vessels and Non-conventional vessel operating in Africa", because Volta River Development (Lake traffic) Regulations, 1974 (LI 862) were outdated.

Other measure were put in place like the Naval Task Forces deployment in the Volta Lake, the education programme, the Volta Lake Safety Code, the Life Saving Appliances and Personal Flotation Devices control or the marking of the fairways.

GMA concluded arrangements with the Regional Maritime University to conduct training courses for boat operators (Coxwains) and outboard motor mechanics.

The training course has 3 modules, being the first two for boat operators with contents on boat handling, survival techniques, fire prevention, first aid, stability and safety management. The third course focused on mechanics deals with outboard operation and maintenance.

The own RMU issues certificates of competence after the courses passings.

The Volta Lake Safety Code was produced by GMA with the aim to educate the population involved in the Lake navigation. The media selected were Radio programmes in Unique radio and Peace FM, frequencies and some episodes filmed as drama by Ghana TV.

Regarding other educational measures life saving appliances and personnel flotation devices, portable fire extinguishers, sand boxes, fire blankets and buckets and the design & construction of boats, through comprehensive design and construction rules to govern boatbuilding; were enforced too. The marking of fairways and the removal of tree stumps, was also enforced.

